

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**Título: EVALUACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN DEL  
COMBINADO LÁCTEO DE MOA Y SU INCIDENCIA EN EL CONSUMO  
ENERGÉTICO.**

**Autor: Juan Albero Duran Mateo**

**Tutores: M.Sc. Ever Góngora Leyva**

**M.Sc. Marbelis Lamorú Urgellés**

“AÑO 52 DE LA REVOLUCIÓN”



## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Yo: Juan Albero Duran Mateo

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del I.S.M.M. de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

\_\_\_\_\_  
Autor:

Juan Albero Duran Mateo

\_\_\_\_\_  
Tutor:

M.Sc. Ever Góngora Leyva

\_\_\_\_\_  
Tutor:

M.Sc. Marbelis Lamorú Urgellés

\_\_\_\_\_  
*Juan Alberto Durán Mateo*

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó una evaluación de la carga térmica de la cámara del combinado lácteo de Moa y su incidencia en el consumo energético para la realización de ésta se hizo una búsqueda bibliográfica de los principales trabajos que abordan el tema en cuestión.

Se analizó la incidencia de los portadores energéticos en la empresa y se determinó que la que más influye es la electricidad la cual representa un 54,67 % del total de los portadores a demás se hizo un diagnóstico energético de recorrido, donde se detectaron los principales problemas que conducen al mal funcionamiento e ineficiencias en el proceso productivo, que tributan en gran medida a los elevados consumos de energía eléctrica en la instalación.

Se determinaron los principales puestos claves en la cual se comprobó que el de mayor incidencia es la refrigeración con un consumo de energía de 1963,87 kW/día lo que representa un 76 % del consumo total.

Se estimaron las principales ganancias de calor en la cámara de refrigeración y se compara lo valores obtenidos en los cálculos con la carga instalada.

Además se realizó la valoración económica y el análisis del impacto medioambiental y las principales causas de enfermedades por el uso del amoníaco y las medidas que se deben de tomar en la utilización de este producto.

## SUMMARY

Presently work was carried out a thermal evaluation of the chill room of the “Combinado Lácteo de Moa”, and its incidence in the energy consumption, for the realization of this a bibliographical search of the main works was made that approach about the topic in question.

The incidence of the energy payees was analyzed and it was determined that the one of but it influences it is the electricity which represents 54,67% of the total of the payees to other an energy diagnosis of journey it was made, with the objective of detecting the main problems that carry bad operation and inefficient in the productive process that it pay in great measure to the high electric power consumptions in the installation.

The main positions of energy consumption were determined in which was proven that of more consumption inside these it was the refrigeration position with a consumption of 1963,87 kW/day what represents 76% of the total consumption.

They were considered the main earnings of heat in the refrigeration camera and it is compared you the value obtained in the calculations of the installed load and the one calculated.

It was also carried out an economic valuation and analysis of the environmental impact of the main causes of illnesses for the use of the ammonia and the measures that should take in the use of this product.

**INDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	4
1.1- Introducción. ....	4
1.2- Estado del arte. ....	4
1.3- Gestión Energética .....	11
1.3.1- Objetivos de la Gestión Energética .....	12
1.3.2- Análisis Energético. ....	12
1.4- Caracterización de la Empresa.....	14
1.5- Conclusiones del capítulo 1 .....	19
<b>MÉTODO DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN</b> .....	20
2.1- Introducción.....	20
2.2- Método General de Cálculo de Carga Térmica.....	21
2.2.1- Carga de Transmisión de Calor.....	21
2.2.2- Carga de infiltración. ....	24
2.2.3- Carga del Producto.....	27
2.2.4- Carga de respiración de Frutas y Vegetales .....	29
2.2.5- Carga miscelánea .....	30
2.2.6- Factor de seguridad y carga horaria.....	32
2.3- Conclusiones del Capítulo 2 .....	33
<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, VALORACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL</b> .....	34
3.1- Introducción.....	34
3.2- Análisis de los portadores energéticos electricidad y agua.....	34
3.2.1- Análisis del portador electricidad .....	35
3.2.2- Análisis del portador Agua .....	36
3.3- Resultados del diagnóstico energético .....	37
3.3.1- Refrigeración.....	37
3.3.2- . Producción. (Sistema de agua fría). ....	37
3.3.3- Producción. (Sistema de agua caliente).....	38

3.3.4- Agua común.....	38
3.3.5- Estado de las instalaciones eléctricas.....	39
3.4- Definición de los principales puestos claves de consumo de energía.....	39
3.5- Comportamiento de la producción de lácteos en la empresa.....	40
3.6- Resultados principales sobre la estimación de la carga térmica .....	41
3.6.1- Materiales.....	41
3.6.2- Cálculo de la carga térmica de refrigeración.....	44
3.6.3- Evaluación del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.....	48
3.7- Valoración económica.....	48
3.8- Valoración ambiental .....	49
3.8.1- Daños a la salud causados por el NH <sub>3</sub> .....	50
3.8.2- Medidas a tener presente en una Instalación de NH <sub>3</sub> .....	50
3.8.3- Medidas a tener en cuenta en el cuarto de máquina. ....	51
3.9- Conclusiones del Capítulo 3.....	51
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>52</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>54</b>

## INTRODUCCIÓN

Resulta imprescindible en la situación actual de la economía cubana la reducción de la demanda del consumo de energía, de los costos asociados con ellos y con las inversiones capitales en los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicios. Esta necesidad está potenciada por el impacto medioambiental de las tecnologías energéticas.

No existe duda alguna que la energía es la fuerza que mueve al mundo de la industria, y para hacer un uso más racional de la misma, en Cuba se han llevado a cabo vigentes esfuerzos encaminados a elevar la eficiencia de los procesos productivos de las diferentes ramas industriales, con vista a alcanzar los más altos rendimientos económicos.

Los portadores energéticos podrán utilizarse eficazmente con la aplicación de medidas que son realizables desde el punto de vista técnico, lo que tiene suma importancia en el sector de los servicios. La utilización racional de la energía requiere de métodos racionales que enfoquen la solución de los sobre consumos, excesos de pérdidas y explotación de las instalaciones en el ámbito técnico, económico y ambiental.

La industria de la refrigeración cada día se extiende más y encuentra múltiples aplicaciones. En otros tiempos, el uso principal de la refrigeración era la producción de hielo, hoy en día la refrigeración es esencial en la producción, conservación y distribución de alimentos, en la climatización y en el funcionamiento eficiente de la industria.

En la actualidad este proceso es utilizado o aplicado de diversas formas, tales como:

- Preparación de alimentos.
  - Productos lácteos.
  - Envasado de carnes, pescado y volatería.
  - Bebidas y confituras.
  
- Almacenamiento y distribución de alimentos.

- Usos de la refrigeración en industrias químicas y procesos industriales.
- Usos especiales de la refrigeración.
- Aire acondicionado (confort humano; hogares).
- Aire acondicionado industrial.

**Situación problemática:**

De investigaciones y trabajos realizados en años anteriores se ha comprobado que existe un elevado consumo de energía, manifestándose en los portadores energéticos del Combinado Lácteo “El Vaquerito de Moa”, como el Combustible, Electricidad y Agua por solo mencionar algunos.

- \_ Los consumos energéticos de la instalación están por encima Plan previsto para los niveles de producción actual.
- \_ Baja eficiencia en el sistema de compresión y transporte del amoníaco, así como también en el sistema de enfriamiento del yogurt, la leche y el helado.
- \_ Mal estado de las puertas de las neveras de yogurt y helado.
- \_ El volumen de las cámaras frías para yogurt y helado no está acorde con los volúmenes de producción actual y la carga térmica instalada.

Todas estas problemáticas imponen la necesidad de realizar una evaluación del consumo energético por concepto de refrigeración en las instalaciones del Combinado Lácteo de Moa, aspecto que ha dado origen al presente trabajo.

A partir de los elementos antes mencionados se declara como **problema**:

El desconocimiento de la carga térmica real necesaria de las cámaras de conservación y congelación de productos lácteos, impide el eficiente desarrollo de la empresa y no garantiza el racional aprovechamiento de los recursos energéticos del país.

Como **objeto** de estudio de la investigación se plantea:

Las cámaras de conservación y congelación de productos lácteos.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

Con la estimación de la carga térmica real necesaria de las cámaras de conservación y congelación de productos lácteos en el Combinado Lácteo de Moa, se podrían establecer criterios que garanticen la explotación eficiente de los equipos de refrigeración y un racional aprovechamiento de los recursos energéticos.

En correspondencia con la hipótesis planteada, se define como **objetivo** del trabajo:

Realizar la estimación de la carga térmica real necesaria de las cámaras de conservación y congelación de productos lácteos que permita la explotación eficiente de los equipos de refrigeración y un racional aprovechamiento de los recursos energéticos.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas** de trabajo:

- Realizar un análisis bibliográfico que permita el establecimiento del estado del arte sobre la temática tratada.
- Describir los locales teniendo en cuenta las especificaciones técnicas para la refrigeración.
- Establecer el comportamiento de los portadores energéticos en la empresa.
- Establecer el procedimiento de cálculo adecuado para la estimación de la carga térmica.
- Estimar la carga térmica total sobre la batería de enfriamiento.
- Valorar económicamente la propuesta efectuada considerando el impacto ambiental asociado a la misma.

## MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1- Introducción.

La energía, y el uso en cualquiera de sus formas por el hombre, han delineado el desarrollo de la sociedad humana en cada una de sus etapas evolutivas. La humanidad, a lo largo de los años, ha perfeccionado la utilización de ésta, pasando de los métodos más simples de manejo a los más complejos aplicados en la actualidad, con el fin de dar satisfacción a sus necesidades.

Ya que toda técnica desarrollada por el hombre implica el uso fundamental de la energía, resulta necesario resaltar la importancia que ella tiene dentro de todo proceso productivo. Por tal razón, es necesaria una correcta utilización de la misma, de manera que se logre un incremento en la eficiencia energética de la empresa, sin afectar la calidad de sus productos. En tal sentido el objetivo del presente capítulo es realizar una breve reseña del estado del arte sobre la temática aquí tratada y una caracterización de la empresa con los esquemas tecnológicos que la identifican.

### 1.2- Estado del arte.

En este trabajo se presentan una serie de temas donde se expone la metodología de los elementos principales que componen la tecnología de gestión, para lograr la eficiencia energética a través de una continua aplicación de medidas y proyectos de ahorro de energía. La eficiencia energética y el uso racional de los portadores energéticos presentan en estos momentos una necesidad de desarrollo sostenible, donde la industria, los servicios y el sector residencial realizan importantes esfuerzos.

La fuente de energía más barata es la eficiencia energética, sabiendo que es generalmente en el equipo, el sistema o la tecnología donde se producen las pérdidas. El problema fundamental para explotarla lo constituye la determinación del lugar donde éstas se producen, su evaluación en cantidad y calidad, la identificación de las causas que la producen, las vías que conducen a su reducción o eliminación, la evaluación del costo-beneficio de cada una de estas vías, el seguimiento de la aplicación de la decisión adoptada y su control así como la valoración técnico-económica final del proceso.

En cada uno de estos elementos, imprescindibles para lograr y hacer permanentes los avances en la eficiencia energética, existen tecnologías bien definidas y que se desarrollan y perfeccionan con el avance científico-técnico. La realización inadecuada o incompleta de alguna parte de este diagnóstico puede llevar a una explotación ineficiente de la fuente y el desaprovechamiento de potenciales.

La eficiencia energética a pesar de ser una de las alternativas menos costosa y menos contaminante de todas, se convierte en una fuente no agotable y aplicable a todo tipo de empresas.

En la actualidad otras entidades pasteurizadoras han sido objeto de estudios en materia de eficiencia energética, arrojando resultados relevantes en el ahorro de portadores energéticos, implementando medidas para lograr el aumento de la eficiencia y la productividad, ejemplo de ello lo constituye el estudio de eficiencia energética realizado en el Combinado Lácteo “Rafael Freire Torres” de Holguín (Sánchez, 2003).

En dicho estudio se logró establecer una estrecha relación entre el rol de la eficiencia energética y la competitividad, por otra parte infiere que al mejorar la calidad, aumenta la productividad y la competitividad en calidad y precio. También plantea que la eficiencia energética en la competitividad de la empresa debe observarse de dos formas: como un elemento independiente que actúa directamente en el costo del producto o servicio y como un paso de mejora de la calidad que disminuye los costos.

En sentido general y a raíz de los resultados del diagnóstico energético (Sánchez, 2003), se lograron implantar medidas que llevarán al sistema a funcionar con una eficiencia óptima, se atacaron las debilidades y resaltaron las potencialidades tanto en el personal que trabaja en la entidad como en los puestos de trabajo.

Como seguimiento a las investigaciones realizadas en entidades similares se tiene el estudio que se llevó a cabo en el Combinado de Helados y Quesos de la provincia de Granma (Hernández, 2008), en el cual se dieron a la tarea de optimizar los consumos de portadores energéticos frente al impacto de la actual crisis económico-financiera en Cuba. Entre las múltiples medidas adoptadas por el combinado están la paralización

durante dos horas, en el horario pico, de los agitadores de los tanques de envejecimiento de la mezcla del helado, lo cual no perjudica la calidad del producto logrando un ahorro de 6 MWh al mes, y poner en funcionamiento las calderas en el momento específico que cada área necesite y solicite el vapor. Otra de las medidas adoptadas fue la sustitución de las esteras eléctricas por manuales, con un sistema de rodillos, las que se utilizan para llevar los cubos de helado del departamento de elaboración hasta la nevera.

Con estas soluciones el establecimiento ahorra cerca de 11 MWh al mes, como también lo son 0.3 MWh que dejan de gastarse con el uso de la gatera, una puerta pequeña de un metro cuadrado por donde extraen los galones de helado de la nevera. Tal operación se hacía abriendo la puerta grande de la nevera de alrededor de seis metros cuadrados por donde se escapaba mayor cantidad de frío. El programa de ahorro del combinado bayamés le permitirá aprovechar 97.6 MWh al mes.

A raíz de lo antes expuesto en América Latina y el Caribe, la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) considera que mediante el uso eficiente de la energía podría reducirse el consumo de portadores energéticos de la región entre el 10 y 20% en corto y mediano plazo. (Sánchez, 2003),

En Cuba (Borroto, 2006) la Comisión Internacional de Energía consideró que por esta vía, con inversiones menores y de rápida recuperación (menores de 1,5 años) se logrará un ahorro anual del 5% del consumo del país. Más del 45% de este ahorro se obtendría en el sector residencial y de servicios, y casi un 10% en el transporte.

Se estima que en la industria cubana, las actividades con mayores potenciales son: el níquel, el cemento, el acero, la generación eléctrica, la refinación de petróleo y en menor medida las industrias alimenticias y el papel. En todas ellas las medidas en lo fundamental se dirigen a elevar la disciplina tecnológica, mejoras técnicas y técnico-organizativas, aprovechamiento del vapor residual, sustitución por combustibles económicamente más ventajosos, mejoras en la combustión, automatización de los controles y otras. (Borroto, 2006).

Es imprescindible reducir la dependencia de la economía cubana del petróleo y los combustibles fósiles. Es una tarea primordial debido a la amenaza del cambio climático global y los problemas ambientales serios que hacen que a medio plazo, no se pueda seguir utilizando como forma de vida una fuente de energía no renovable que se va agotando y deteriorando paulatinamente. Por una parte aprender a obtener la energía de forma económica y respetuosa con el medio ambiente, es un deber elemental de justicia.

Usar eficientemente la energía significa no emplearla en actividades innecesarias conseguir hacer las tareas con el mínimo consumo de energía posible. Desarrollar tecnologías y sistemas de vida y trabajo que ahorren energía, es lo más importante para lograr un auténtico desarrollo que se pueda llamar sostenible. (Viego, 2007).

Según Ginés.; et al. (2002), como resultado de un análisis de alternativas proponen tres tecnologías para el tratamiento de los residuales del Combinado Lácteo Santiago. Realizaron el análisis económico, obteniendo la mejor posibilidad para el tratamiento de los residuales líquidos de la fábrica. El sistema propuesto por los autores incluye procesos de homogeneización, digestión, lagunas de algas de alto rendimiento y sedimentación. Obtiene como resultado agua tratada que puede ser vertida al medio u otros usos, y lodos que pueden emplearse como acondicionadores del suelo.

Según Cruz.; et al. (2003), para evaluar los índices energéticos en una planta de productos lácteos, elaboraron cronogramas de los consumos de vapor y energía eléctrica en las líneas tecnológicas de leche, yogurt y crema, lo que permitió la caracterización de los procesos. Se determinó la cantidad de combustible y energía eléctrica técnicamente requeridos y se establecieron las recomendaciones para disminuir los mismos. Concluyendo que el consumo de combustible técnicamente requerido representa el 79 % del empleado en la planta en las condiciones de operación actuales. Donde la discrepancia entre los consumos de combustible real y técnicamente requerido puede estar motivada por la baja eficiencia de la caldera, el inadecuado control del uso del vapor en el proceso, el mal estado técnico de las válvulas y el diseño ineficiente de algunos equipos de intercambio de calor.

La Gestión Energética va encaminada a lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicios del confort, productividad, calidad de los servicios y sin deteriorar el nivel de vida. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de ahorro de energía ya sea desde el punto de vista de la propia empresa como a nivel nacional.

En la medida en que la situación energética se deteriora, se hace sentir la necesidad de que la energía sea considerada como un factor de costo que requiere especial atención. Durante años los precios se han duplicado debido a que el mundo se ha ido desarrollando y también se ha incrementado la demanda en varios sectores industriales y de servicios.

En la implementación de una Gestión Energética suelen presentarse una serie de dificultades que pueden ser en general, la insuficiente especialización del personal técnico y la falta de conciencia de ahorro. Es de vital importancia y necesario que técnicos y operarios desarrollen un nivel de pertenencia del trabajo a realizar y aptitudes encaminadas a la búsqueda y puesta en práctica de nuevas soluciones, así como un buen nivel de conocimiento de éstos para una satisfactoria asimilación de la tecnología. (Sánchez, 2003).

Una vez consultada y resumida la bibliografía relacionada con las potencialidades del ahorro energético en las industrias lácteas se procedió al estudio de la bibliografía relacionada con los sistemas de refrigeración y su situación actual, entre los que se destacan:

Según Mendoza (2006), la refrigeración por compresión se logra evaporando un fluido refrigerante a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, conocido como evaporador, el cual permite una transferencia térmica con su entorno. Al evaporarse el fluido líquido cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador y

hacerlo líquido de nuevo. Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua. De esta manera, el refrigerante en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión.

Bautista (2000), construye un modelo matemático general del ciclo de refrigeración, mediante la termodinámica del tiempo finito desarrollada para los modelos de ciclos endorreversibles de tres depósitos. La fórmula óptima se puede usar para discutir el efecto de fuentes de calor finitas y resistencias térmicas sobre la operación del ciclo.

Douglas (2003), en este artículo los autores repasan los tipos de gases incondensables que se pueden acumular en los sistemas, sus consecuencias, las operaciones de purga, así como otros aspectos y factores que influyen en la eficiencia de las purgas, dando ha demostrar que en los condensadores no se puede mitigar la diferencia de presión. La imposibilidad de conseguir “presiones de condensación fluctuantes” tendrá implicaciones energéticas anuales significativas.

Ovidio (2003), describe un mejoramiento considerable a la tecnología clásica de absorción de amoníaco en agua, la cual requiere de temperaturas altas de calentamiento (120 a 150°C) que lo excluyen del uso en combinación con colectores solares planos (para agua), aquí se plantea una nueva variante, que permite hacer funcionar este sistema a temperaturas de calentamiento entre 70 a 90°C y permite ahorrar energía eléctrica además de contaminar muy poco el medio ambiente.

Guerra (2005), realizó un análisis de la planta de fabricación de hielo del Municipio de Moa. Hizo una caracterización de la instalación, la exposición de los aspectos más significativos de la fabricación de hielo en bloque y las condiciones en que se encuentran las industrias de fabricación del hielo en Cuba. Prosiguió con el análisis crítico de la instalación, donde se muestran los aspectos más importantes que se han tenido en cuenta en la evaluación y su situación en dicha planta. Por otra parte se hace una breve descripción de los equipos principales de la planta y su propuesta de mantenimiento para cada caso.

Según Restrepo et al (2007). Para obtener la mayor capacidad y la mayor economía de operaciones en un frigorífico es de importancia que el sistema de refrigeración opere a las presiones de succión más altas posibles. Es esencial que la temperatura del gas que regresa al compresor esté a una temperatura mínima de 9,5°C arriba de la temperatura de evaporación, para evitar el flujo de refrigerante líquido al compresor. Se deben aislar térmicamente las tuberías de admisión como forma de prevenir la escarcha y para rebajar el calor transmitido por las tuberías, también para reducir la temperatura a la entrada del compresor. Se deben usar motores de alta eficiencia ya que mejorar la eficiencia de los motores representa una reducción de los costos de operaciones por el ahorro del consumo de energía eléctrica.

Según Castro (2001), las funciones que deben cumplir los lubricantes para compresores de refrigeración son los siguientes: sellar el mecanismo de compresión; reducir la fricción y el desgaste en las partes móviles del compresor; remover el calor generado en el proceso de compresión. Cumpliendo estas funciones correctamente los refrigerantes aumentan la vida útil de los sistemas, al evitar la corrosión y la herrumbre las que traen consigo pinchaduras en las tuberías y con esto la disminución de la eficiencia del sistema.

Según Castro (2001), las propiedades del lubricante para compresores de refrigeración deben ser la estabilidad térmica y química, la misma ayuda a que no hayan desgaste y otras fallas en el compresor; miscibilidad, esta se refiere a las características de solución líquido refrigerante con aceite; solubilidad y viscosidad, la composición del lubricante es diferente en las diversas partes de sistema de refrigeración; punto de fluidez y floculación.

Según Vian, J.G. (2003), presenta un estudio comparativo de cargas térmicas con la utilización de un refrigerador doméstico, diseñado para uso de un refrigerante inflamable. Para poder comparar los consumos de energía en los refrigeradores domésticos, es necesario obtener previamente las condiciones de carga óptima del refrigerante, realizando barridos de carga en el equipo con cada compresor y los tres refrigerantes.

Garcés (2009), hace la propuesta de un Sistema para la Gestión Energética en el Combinado Lácteo “El Vaquerito” de Moa, tomando como punto de partida el análisis de los consumos de portadores energéticos en la empresa y sus costos asociados. Estableció las reservas en el uso de la energía e implantaron medidas organizativas y de inversión para elevar la eficiencia. Se definió los principales puestos claves de consumo de energía y se establecieron nuevos índices de consumo por producto. Se profundizó en el estudio del portador electricidad a partir del procesamiento de mediciones realizadas.

Como se ha podido observar la bibliografía consultada muestra que son diversos los aspectos que influyen en la eficiencia energética de la industria láctea y es por ello que se requiere de un enfoque integral para la evaluación y solución de los problemas que en ella se manifiestan. Hasta la fecha (Garcés, 2009), es el único que ha llevado a cabo un diagnóstico para la Gestión Energética en el Combinado Lácteo “El Vaquerito” de Moa, identificando los puestos claves con el objetivo de disminuir los consumos por portadores energéticos. Pero aún no existe un criterio sólido de las reservas energéticas existentes en los sistemas de refrigeración, de ahí la importancia de este trabajo.

### **1.3- Gestión Energética**

Es un conjunto de acciones técnico-organizativas para administrar eficientemente la energía, que aplicadas de forma continua, con la filosofía de gestión total de la calidad, permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control y evaluación del uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de conservación de la energía y de reducción de sus costos.

La Gestión Energética va encaminada a lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicios del confort, productividad, calidad de los servicios y sin deteriorar el nivel de vida. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de ahorro de energía ya sea desde el punto de vista de la propia empresa como a nivel nacional.

En la medida en que la situación energética se deteriora, se hace sentir la necesidad de que la energía sea considerada como un factor de costo que requiere especial atención. Durante años los precios se han duplicado debido a que el mundo se ha ido desarrollando y también se ha incrementado la demanda en varios sectores industriales y de servicios.

En la implementación de una Gestión Energética suelen presentarse una serie de dificultades que pueden ser en general, la insuficiente especialización del personal técnico y la falta de conciencia de ahorro. Es de vital importancia y necesario que técnicos y operarios desarrollen un nivel de pertenencia del trabajo a realizar y aptitudes encaminadas a la búsqueda y puesta en práctica de nuevas soluciones, así como un buen nivel de conocimiento de éstos para una satisfactoria asimilación de la tecnología. (Sánchez, 2003).

### **1.3.1- Objetivos de la Gestión Energética**

El objetivo fundamental de la Gestión Energética es sacar el mayor rendimiento posible a las cantidades de energía que necesita. Dentro de esta idea el sistema de gestión habrá de responder a determinadas funciones, que tendrán que implementarse en relación con los servicios de la empresa. En un sentido más amplio puede ser la comprensión de la elección de las fuentes de energía, las negociaciones con los suministradores y el control de los suministros, almacenamiento y distribución. (Campos, 1998).

### **1.3.2- Análisis Energético.**

Es posible establecer dos tipos de análisis energético:

- De control de consumo.
- De auditoria o diagnóstico.

Lo primero que se necesita para establecer un plan de ahorro de energía es conocer cómo y cuánto se consume. Para ello es necesario implantar un sistema de contabilidad energética que permita conocer los consumos de cada portador energético existente en la empresa en cada una de las áreas de consumo. (Borroto, 2006).

Para conocer la situación energética de los diferentes equipos y operaciones básicas, es necesario realizar una auditoría energética con profundidad, que permita conocer los consumos instantáneos, pérdidas, rendimiento, estado del equipamiento y las posibles medidas para mejorarlo.

La Gestión Empresarial incluye todas las actividades de la función gerencial que determinan la política, los objetivos y las responsabilidades de la organización; actividades que se ponen en práctica a través de: la planificación, el control, el aseguramiento y el mejoramiento del sistema de la organización.

La Gestión Energética o Administración de Energía, como subsistema de la gestión empresarial abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas.

Un sistema de gestión energética se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación.

Al aplicar un sistema de gestión energética se toman acciones encaminadas a reducir consumos energéticos por unidad de producto manufacturado, cumpliendo a su vez con los objetivos de calidad en el uso de la energía del sector industrial. (Campos, 1998), para ello se debe llevar a cabo una metodología de Gestión Energética:

1. Concientización acerca de la importancia que tiene la implementación de un sistema de gestión energética, por medio de charlas al personal de operarios y supervisores del área de producción.
2. Visita de reconocimiento para la familiarización con los sistemas y equipos con los que cuenta la empresa.
3. Levantamiento de esquemas de funcionamiento de toda la planta de producción.
4. Caracterización energética de la empresa.
5. Censo de carga de los equipos que tiene el área de producción.

6. Monitoreo, evaluación y diagnóstico de los sistemas presentes en la empresa: Motores para el área de hidráulica, banco de condensadores, compresores, la tubería de aire comprimido, hornos, secadores, calentador de agua.
7. Identificación de los indicadores de control energético.
8. Establecimiento de normas y recomendaciones para prácticas operativas más eficientes.

Por las características de Cuba desde el punto de vista energético se hace necesario que siempre que sea posible la industria logre su autoabastecimiento mediante la cogeneración de energía eléctrica en función de disminuir el consumo del Sistema Electroenergético Nacional. Esto en primer lugar propicia la confiabilidad del servicio eléctrico que garantice la continuidad de la producción y además posibilita disminuir los costos.

#### **1.4- Caracterización de la Empresa**

El Combinado Lácteo " El Vaquerito " se encuentra ubicado en el municipio de Moa, en la Avenida 7 de Diciembre. La misma cuenta con nueve edificaciones fundamentales y otras que se encuentran dentro de su área. La empresa consta de una plantilla de 135 trabajadores, de los cuales 36 son mujeres y 99 hombres. Dentro de la misma existen 18 técnicos, 9 administrativos, 7 dirigentes, 77 obreros y 25 de servicios.

Su objetivo social fundamental radica en la fabricación de productos lácteos a partir de los derivados de la soya y la leche para el consumo de la población infantil y en general que reciben su alimentación básica a través de este establecimiento.

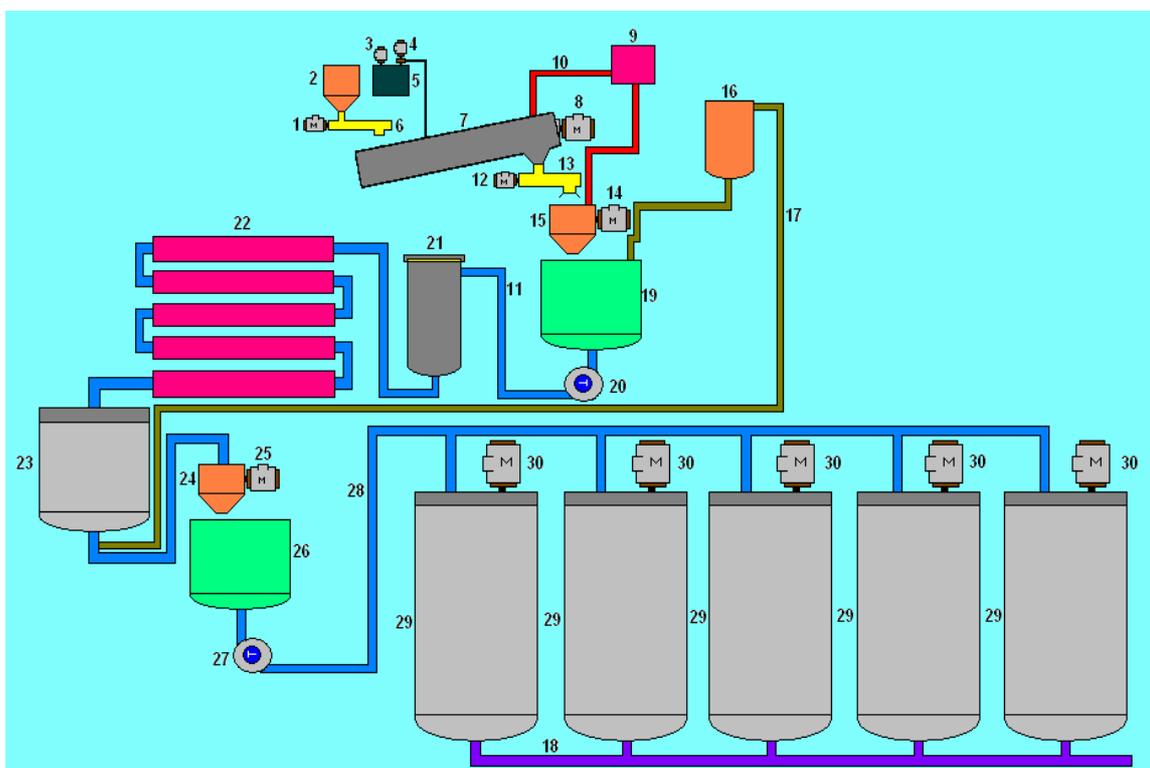
Como objetivos específicos se tienen:

- Producir, distribuir y comercializar de forma mayorista leche en polvo, yogurt, helados, quesos, mezclas físicas alimenticias y otros productos lácteos en moneda nacional y convertible.
- Comercializar de forma mayorista las producciones del resto de las entidades de la unión láctea en moneda nacional y convertible.

- Brindar servicios gastronómicos a los trabajadores de la entidad y al sistema en moneda nacional.
- Efectuar la venta a trabajadores de las entidades del sistema de la industria alimenticia los excedentes de las producciones y el autoconsumo de los productos lácteos, cárnicos y agrícolas en moneda nacional.

En el Combinado Lacteo de Moa se identifican dos esquemas tecnológicos que caracterizan las principales producciones que salen de esa instalación para el consumo de la población:

### 1. Esquema tecnológico para la producción de Yogurt de Soya y Leche Saborizada



**Figura 1.1** Esquema tecnológico para la producción de yogurt de soja y Leche Saborizada. Fuente: Garcés (2009).

**Leyenda.**

- |   |   |
|---|---|
| 1. Motor del Dosificador # 1.             | 17. Conducto de recirculación de la soya cruda.                 |
| 2. Tanque de recepción de la Soya.        | 18. Conducto del producto terminado.                            |
| 3. Agitador del tanque de bicarbonato.    | 19. Tanque receptor del primer molinado de la soya.             |
| 4. Bomba de bicarbonato.                  | 20. Bomba neumática.(400 l/min)                                 |
| 5. Tanque de bicarbonato.                 | 21. Calefactor.   |
| 6. Dosificador # 1.                       | 22. Serpentín retenedor.  |
| 7. Sin fín.                               | 23. Tanque de flacheo.  |
| 8. Motor del sin fín.                     | 24. Molino # 2.   |
| 9. Tanque de suministro de agua caliente. | 25. Motor del molino # 2.                                       |
| 10. Conductos de agua caliente.           | 26. Tanque receptor del segundo molinado de la soya.            |
| 11. Conductos de la Soya molida.          | 27. Bomba neumática. (400 l/min)                                |
| 12. Motor del dosificador # 2.            | 28. Conducto de la soya para los tanques de producto terminado. |
| 13. Dosificador # 2.                      | 29. Tanques de producto terminado.                              |
| 14. Motor del molino # 1.                 | 30. Agitadores.(1,2,3,4,5)                                      |
| 15. Molino # 1.                           |   |
| 16. Tanque receptor de la soya cruda.     |   |

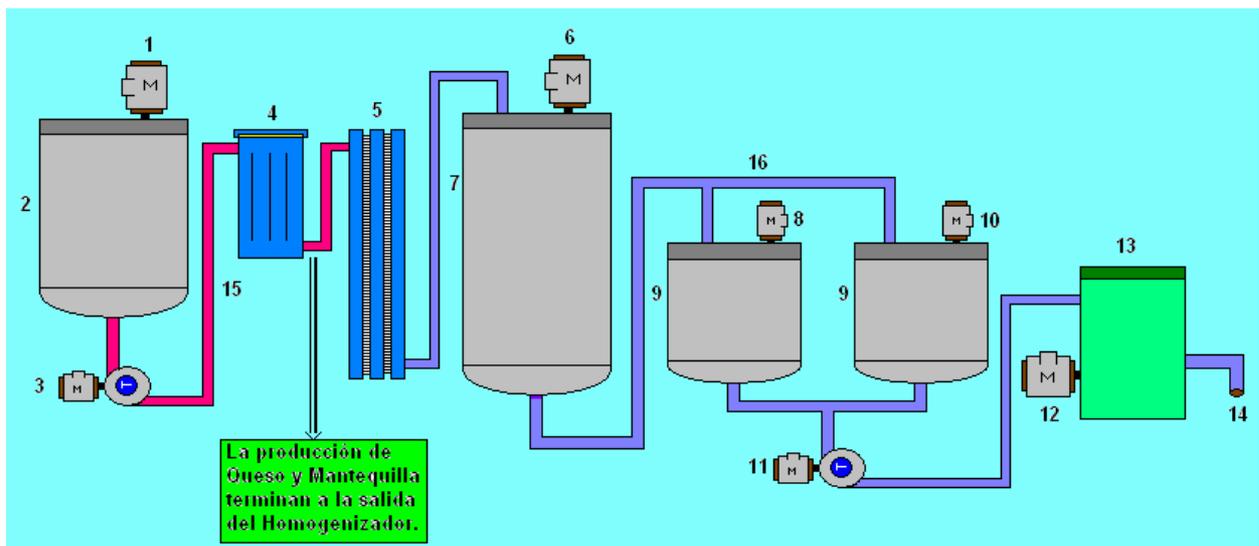
Para culminar el proceso de yogur de soya el producto se bombea de la Línea Nueva hasta el área de producción en los tanques 4 y 5 para sufrir el siguiente proceso:

- \_ A la leche estandarizada se le añade el azúcar en forma de sirope. El sirope se prepara añadiendo el azúcar al tanque, previamente pesada y se incorpora el 30 % de agua, se pasteuriza hasta 90°C y se le adiciona el color y sabor.
- \_ La leche de soya con el azúcar debe tener entre 1,054 y 1,056 kg/l , se refresca hasta entre 42 y 45°C y se inocula con el cultivo industrial.
- \_ Tiempo de coagulación de 2,3 a 3 horas, acidez 0,34 % .
- \_ Se enfría hasta 6°C y se embolsa en la máquina embolsadora, Peso 936 g , Volumen 917 más menos 11 ml .

En esta línea de trabajo se obtiene mediante el molinado la leche de la soya para la producción de yogurt de soya, leche saborizada y queso cresol, para la producción del yogurt de soya y la leche saborizada se muele en una sola tanda.

Para el cálculo del Índice de Consumo de este producto como caso experimental se obtuvo el tiempo que se necesitó para producir 10,5 t de yogurt de soya que fue de 8 horas y 30 minutos, y en esta misma línea también se producen aproximadamente 1 tonelada de leche saborizada en un tiempo de aproximadamente de 1 hora.

## 2. Esquema tecnológico para la producción de Queso Cresol, Mantequilla y Helado.



**Figura 1.2** Esquema tecnológico para la producción de Queso Cresol, Mantequilla y Helado. Fuente: Garcés (2009).

### Leyenda.

- |   |  |
|---|--|
| 1. Agitador del tanque de preparación de la mezcla. | 8. Agitador del tanque de recepción de la mezcla terminada.  |
| 2. Tanque de preparación de la mezcla.              | 9. Tanque de recepción de la mezcla terminada.               |
| 3. Bomba doble pistón.                              | 10. Agitador del tanque de recepción de la mezcla terminada. |
| 4. Homogenizador.                                   | 11. Bomba mono pistón.                                       |
| 5. Cortina de enfriamiento.                         | 12. Motor de la máquina de hacer Helado.                     |
| 6. Agitador del tanque de la mezcla terminada.      | 13. Máquina de hacer Helado.                                 |
| 7. Tanque de la mezcla terminada.                   | 14. Salida del producto terminado.                           |

En la producción de Helado intervienen varios procesos que influyen directamente en el consumo de energía, como son:

- \_ Estandarización de la mezcla. (dura aproximadamente 1 h).
- \_ Homogenización. (dura aproximadamente 2 h).
- \_ Bombeado de la mezcla para llevarla de 10 a 0°C . (dura aproximadamente 1 h).
- \_ Maduración de la mezcla (puede durar aproximadamente de 4 a 24 h).

En la producción de Queso Cresol intervienen los motores de la Línea Nueva, el agitador del tanque de preparación de la mezcla, la bomba doble pistón del área de helado y el Homogenizador.

Para la obtención del queso cresol, a través y después del molinado intervienen una serie de procesos que están estrechamente relacionados con los consumos de energía eléctrica los cuales son:

1. Obtención de la pasta de soya después del molinado, Ac = 0.30 % .
2. Adición de la grasa vegetal.
3. Disolución y adición de la leche (se añade poco a poco).
4. Refrescamiento hasta (42 a 45°C)
5. Inoculación con cultivo industrial, 3%.
6. Coagulación, Tiempo 2 h , Ac 0,75 % , Temperatura. (42 a 45°C)
7. Corte del coágulo agitando 5 minutos.
8. Calentamiento hasta 65°C y adición de sal 1,5 % , conservantes 0,1 % .
9. Pasteurización Temp. 65°C , Tiempo 0.5 h .
10. Homogenización. Presión 150 kgf/cm<sup>2</sup>, Temp. (60 a 65°C)
11. Envasado, pesado y atemperamento.
12. Almacenamiento del producto terminado de (2 a 6°C)

### **1.5- Conclusiones del capítulo 1**

- \_ La bibliografía consultada no da respuesta a la problemática abordada en esta investigación, pero aborda criterios que son útiles para la investigación.
- \_ Los trabajos relacionados con la búsqueda de mejoras en la eficiencia de los sistemas de refrigeración parten de un diagnóstico energético para la identificación de los puestos claves.

## MÉTODO DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN.

### 2.1- Introducción

El cálculo de carga térmica de una cámara de refrigeración tiene por objetivo la determinación de la cantidad de calor que es necesario extraer de la misma en un tiempo determinado para crear y mantener en su interior las requeridas temperaturas y humedad relativa.

En refrigeración, esta cantidad de calor a extraer de la cámara se calcula por día (24 horas), y se toma de 16 a 20 horas diarias de operación del equipo de refrigeración para vencer dicha carga, dejando las horas restantes del día para descongelación de los serpentines y como un factor de reserva para cargas pico poco frecuentes, para cámaras con serpentines de enfriamiento a temperatura de evaporación del refrigerante de  $-1^{\circ}\text{C}$  o menor, se toman de 18 a 20 horas diarias de funcionamiento de la refrigeración. Si la cámara opera a más de  $0^{\circ}\text{C}$  es práctica general tomar 16 horas de operación, lo que permite suficiente tiempo de parada de los compresores para que el aire de la cámara (sobre  $0^{\circ}\text{C}$ ) pueda utilizarse para deshielo. Pero si la temperatura de la cámara es inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ , se suele utilizar medios de descongelación tales como gas caliente, electricidad, etc., de manera que la eliminación de escarcha de los serpentines se pueda realizar rápidamente y con mínimo de aumento en la temperatura de la cámara, permitiendo un tiempo de operación de los compresores de 18 hora diarias.

La humedad relativa en las cámaras se suele obtener manteniendo un diferencial fijo entre las temperaturas de la cámara y la de evaporación del refrigerante.

Para la evaluación energética de cámaras frías es ineludible el procedimiento de cálculo de la carga térmica de refrigeración, por cuanto la literatura especializada recoge varios métodos y se debe seleccionar el más adecuado en cada caso en correspondencia con las características de la cámara, en tal sentido el **objetivo** del presente capítulo es:

Establecer el procedimiento de cálculo adecuado para la evaluación de cámaras de refrigeración en correlación con los aspectos teóricos metodológicos propuestos en investigaciones anteriores.

## 2.2- Método General de Cálculo de Carga Térmica.

En este método la carga térmica  $Q$ , de una cámara de refrigeración comercial se descompone en las siguientes cargas parciales que se relacionan a continuación.

Carga de transmisión de calor por conducción a través de las paredes, techo y piso de la cámara;  $Q_a$

Carga de infiltración del aire exterior en la cámara;  $Q_v$

Carga del producto a conservar en la cámara;  $Q_p$

Carga miscelánea, que comprende las cargas térmicas debidas a personas, y a equipos eléctricos;  $Q_m$

Carga de respiración de frutas y vegetales;  $Q_R$

Por lo tanto la ecuación 2.1 permite determinar la carga térmica para una cámara de refrigeración comercial.

$$Q_{dt} = Q_a + Q_v + Q_p + Q_m + Q_R \quad (2.1)$$

Estas cargas térmicas se expresan en *kcal* . La primera depende principalmente del área exterior de la cámara y las restantes del volumen interno de la misma.

### 2.2.1- Carga de Transmisión de Calor.

Esta carga es debido a la diferencia de temperatura entre el aire exterior e interior de la cámara, lo cual da lugar a una transferencia de calor por conducción del medio exterior hacia el interior de la cámara. Esta transferencia de calor se disminuye mediante el aislamiento térmico de la cámara con un material aislante térmico.

En general las cámaras de refrigeración comercial no están expuestas a las radiaciones solares y si lo están es por poco tiempo debido a la protección de los elementos del edificio donde estén ubicadas, por lo que no se suele considerar en el cálculo de carga térmica el efecto solar.

La carga de transmisión de calor a través de las paredes, techo y piso de una cámara se calcula por la ecuación 2.2:

$$Q_a = S \cdot K(t_e - t) \quad (2.2)$$

- \_ Donde:
- \_  $Q_a$  : Carga de transmisión de calor a través de paredes, techo y piso de una cámara;  
 $W$
- \_  $S$  : Área exterior total de la cámara (paredes, techo y piso);  $m^2$
- \_  $K$  : Coeficiente global de transferencia de calor,  $W / m^2 \cdot ^\circ C$
- \_  $t_e$  : Temperatura del aire exterior a la cámara;  $^\circ C$  que se toma como la temperatura de diseño de la localidad. Para Cuba, por norma de la Comisión Nacional de Refrigeración y Climatización es de  $32,2 \text{ }^\circ C$ , también se puede determinar a través de la tabla 2.1 de libro de texto: Instalaciones de Climatización de Lazara Polaina de los Santos.
- \_  $t$  : Temperatura de diseño de la cámara o sencillamente temperatura de la cámara;  $^\circ C$ , se obtiene E dependencia de los productos que se desean conservar o congelar.

El área exterior de la cámara se calcula por la ecuación 2.3.

$$S = 2(L \cdot A + L \cdot H + A \cdot H) \quad (2.3)$$

- \_ Donde:
- \_  $S$  : Área exterior de la cámara;  $m^2$
- \_  $L$  : Longitud exterior de la cámara;  $m$
- \_  $A$  : Ancho exterior de la cámara;  $m$
- \_  $H$  : Altura exterior de la cámara;  $m$

Cuando no se tienen las dimensiones interiores de la cámara, se acostumbra a restar 0,30 o 0.60 m a las dimensiones exteriores de ésta para obtener las dimensiones interiores según la cámara sea para temperatura superior o inferior a  $0^\circ C$  , respectivamente.

Es importante conocer el valor del coeficiente global de transferencia de calor  $K$  , el cual se determina a través de la ecuación 2.4.

$$K = \frac{\lambda}{\delta} \tag{2.4}$$

Donde:

$K$  : Coeficiente global de transferencia de calor;  $W / m^2 \cdot ^\circ C$

$\lambda$  : Conductividad térmica del material aislante;  $W / m \cdot ^\circ C$

$\delta$  : Espesor del material aislante;  $m$

**Normas cubanas frigoríficas**

a) para cámara de productos congelados:  $K = 0,225 \cdot W / m^2 \cdot ^\circ C$

b) para cámaras de productos enfriados:  $K = 0,41 \cdot W / m^2 \cdot ^\circ C$

Aquí tomando como referencia el coeficiente global de transferencia de calor según normas cubanas frigoríficas, se calcula el espesor del aislante térmico y luego se normaliza su espesor según la tabla 2.1. El espesor normalizado se sustituye nuevamente en la ecuación 2.4 para hallar el coeficiente global de transferencia de calor normalizado, que luego se sustituye en la ecuación 2.2.

**Tabla 2.1:** Espesores equivalentes de materiales aislantes.

Material	Espesor (mm)			Material	Espesor (mm)		
	50	75	100		100	150	200
Corcho, planchas	50	75	100	Insulex	100	150	200
Madera balsa	75	113	150	Lithboard	75	100	150
Corcho granulado	63	100	130	Aserrín	100	150	200
Poliestireno expandido	25	50	100				

Los siguientes materiales tienen el espesor equivalente al del corcho en plancha: Cabolts Quilt, Celotex, Lana de Bálsamo, Dry, Fobrodelt, Flaxlinum, Hairfelt, Insulite, Kapok, Línofelt, Masonite, Lana Mineral, Rock Corck, Rock Wool y Poliestireno Expandido.

Donde el valor de la conductividad térmica del material aislante  $\lambda$  se selecciona de la tabla 2.2, y el del coeficiente global de transferencia de calor  $K$  se escoge por normas cubanas, según la temperatura que se quiere tener en el interior de la cámara.

**Tabla 2.2** Densidad y conductividad térmica ( $\lambda$ ) de materiales aislantes.

Tipo de material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad Térmica (W/m <sup>2</sup> °C)	Utilización
Poliespuma	20 a 30	0.046 a 0.058	Pared exterior e interior  (lateral, pisos, techo)
Corcho	220	0.07	
Poliuretano suspendido	30 a 100	0.35 a 0.046	
Sipurex	400	0.17	Aislamiento y construcción de paredes, tabiques. Aislamiento de pisos y construcción de techos

### 2.2.2- Carga de infiltración.

Cierta cantidad de aire exterior penetra en la cámara cada vez que se abre su puerta, y además también penetra por otras fuentes de infiltración tales como rendijas, juntas de puertas, etcétera, por lo cual se hace necesario llevar el aire infiltrado de las condiciones del ambiente exterior a las de la cámara, constituyendo esto una carga más a vencer por el equipo de refrigeración, y que se denomina carga térmica de infiltración.

La cantidad de aire de infiltración se establece por estudios basados en la experiencia, y se suele expresar en cambios o renovaciones de aire por día (24 h). En la tabla 2.3 se dan los cambios de aire de infiltración por día para cámaras a temperaturas superiores a 0°C y en la tabla 2.4 para cámaras a temperaturas inferiores a 0°C .

**Tabla 2.3:** Infiltración promedio de aire exterior en las cámaras de refrigeración a más de 0°C en cambios por 24 hr .

Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Cambios por 24 h
100	8,8	300	4,7
120	7,9	400	4,1
140	7,2	600	3,4
180	6,3	800	2,8
220	5,6	1000	2,5

**Nota:** Para uso intenso de las cámaras se deben multiplicar los valores que aparecen en la tabla por 2, y para almacenamiento por largo tiempo se multiplican por 0,6.

**Tabla 2.4:** Infiltración promedio de aire exterior en las cámaras de refrigeración a menos de 0°C en cambios por 24 h .

Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara (m <sup>3</sup> )	Cambios por 24 h
100	6,7	400	3,1
120	6,1	600	2,5
140	5,6	800	2,2
180	4,9	1000	1,9
220	4,4	1400	1,6
300	3,7	1800	1,4

**Nota:** Para uso intenso de las cámaras se deben multiplicar los valores que aparecen en la tabla por 2, y para almacenamiento por largo tiempo se multiplican por 0,6

La carga de infiltración total se expresa por la expresión 2.5 y ésta tiene en cuenta las cargas por infiltración sensible y latente.

$$Q_v = (Q_{v.senc} + Q_{v.lat}) \quad (2.5)$$

La carga de infiltración sensible se determina a través de la ecuación 2.6.

$$Q_{v.senc} = 0.29 \cdot V \cdot N (t_{bs.ext} + t_{bs.int}) \quad (2.6)$$

— Donde:

—  $Q_v$ : Carga de infiltración de la cámara;  $W$

—  $V$ : Volumen de la cámara;  $m^3$

—  $N$ : Renovación de aire o cambio de aire por 24 h . (cambio/h) tablas 2.3 y 2.4.

—  $t_{bs.ext}$ : Temperatura del bulbo seco exterior;  $^{\circ}C$

—  $t_{bs.int}$ : Temperatura del bulbo seco interior ó Temperatura de la cámara;  $^{\circ}C$  .

Para desarrollar este paso se debe conocer el volumen de la cámara. Para cuando se tienen las dimensiones exteriores de la cámara para temperaturas superior a  $0^{\circ}C$  , se emplea la ecuación 2.7 y para temperaturas en la cámara inferiores a  $0^{\circ}C$  , se emplea la ecuación 2.8.

$$V = [(L - 0,6) \cdot (A - 0,6) \cdot (H - 0,6)] \quad (2.7)$$

$$V = [(L - 1,2) \cdot (A - 1,2) \cdot (H - 1,2)] \quad (2.8)$$

Ahora, según se trate, si la temperatura de la cámara es superior o inferior a  $0^{\circ}C$  , se va a la tabla (2.3) ó a la tabla (2.4) a escoger el valor de la cantidad de cambios de aire por día ( $N$ ), la cual es elegida según la temperatura y el volumen de la cámara. El especialista que realiza la proyección no debe olvidar los valores que serán asignados a la humedad específica exterior e interior ( $W_{ext}; W_{int}$ ) los cuales deben ser extraídos de la carta psicométrica, recordando que la unidad de medida en que se expresan las mismas es  $kg_{v.agua} / kg_{gas}$  .

El valor 0.29 que precede la ecuación 2.6 se desprende de la relación entre el calor específico y el volumen específico del aire húmedo a  $21^{\circ}C$  de temperatura de bulbo seco

y 50 % de humedad relativa:  $\frac{0.245kcal / kg^{\circ}C}{0.845m^3 / kg} = 0.29kcal / m^3^{\circ}C$

- \_ Donde:
- \_  $0.245 \text{ kcal} / \text{kg}^\circ\text{C}$ : Calor específico del aire húmedo a  $21^\circ\text{C}$  y 50 %
- \_  $0.845 \text{ m}^3 / \text{kg}$ : Volumen específico del aire húmedo a  $21^\circ\text{C}$  y 50 %
- \_  $Q_v = (\text{kcal} / \text{m}^3^\circ\text{C}) \cdot (\text{m}^3) \cdot (\text{cambio} / \text{h}) \cdot (^\circ\text{C}) = \text{kcal} / \text{h}$

La carga de infiltración latente se determina a través de la ecuación 2.9.

$$Q_{v.lat} = 0,71 \cdot V \cdot N \cdot (W_{ext} - W_{int}) \quad (2.9)$$

El valor 0.71 que precede la ecuación 2.9 se desprende de la relación entre el valor medio de la cantidad de vapor en la condensación de un gramo de vapor de agua y el volumen específico del aire húmedo a  $21^\circ\text{C}$  de temperatura de bulbo seco y 50 % de humedad relativa.

- \_ Donde:
- \_  $W_{ext}$  y  $W_{int}$ , humedad específica del aire exterior e interior en;  $\text{kg}_{va} / \text{kg}_{as}$
- \_  $\frac{0.6 \text{ kcal} / \text{kg}}{0.845 \text{ m}^3 / \text{kg}} = 0.71 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$
- \_  $0.6 \text{ kcal} / \text{kg}$ : Valor medio de la cantidad de vapor en la condensación de un gramo de vapor de agua.
- \_  $Q_{v.lat} = (\text{kcal} / \text{kg}) \cdot (\text{kg} / \text{m}^3) \cdot (\text{m}^3) \cdot (\text{cambio} / \text{h}) \cdot (\text{kg}_{va} / \text{kg}_{as}) = \text{kcal} / \text{h}$

### 2.2.3- Carga del Producto.

Esta carga consiste en la cantidad de calor que es necesario extraer del producto para enfriarlo desde su temperatura de entrada a la cámara hasta la temperatura de ésta en un tiempo determinado. Puede tener varios componentes según el producto que se desee enfriar a una temperatura superior o inferior a su temperatura de congelación. En las frutas y vegetales el calor de respiración de los mismos constituye una componente más de esta carga.

**2.2.3.1- Enfriamiento del producto a temperatura superior a la de congelación**

En este caso la carga térmica del producto se expresa por la ecuación 2.10.

$$Q_p = \omega \cdot C_1(t_1 - t) \quad (2.10)$$

– Donde:

–  $Q_p$  : Carga térmica del producto;  $W$

–  $\omega$  : Cantidad diaria del producto que entra en la cámara;  $kg / 24 \cdot h$

–  $C_1$  : Calor específico del producto sobre su temperatura de congelación;  $kcal / kg^\circ C$

–  $t_1$  : Temperatura a la cual entra el producto en la cámara;  $^\circ C$

–  $t$  : Temperatura de la cámara;  $^\circ C$

**2.2.3.2- Enfriamiento del Producto a Temperaturas Inferior a la de congelación.**

La carga térmica del producto para enfriarlo a una temperatura inferior a su temperatura de congelación viene dada por la ecuación 2.11.

$$Q_p = Q_{p1} + Q_{pc} + Q_{p2} \quad (2.11)$$

– Donde:

–  $Q_{p1}$  : Carga de enfriamiento del producto desde su temperatura de entrada en la cámara hasta su temperatura de congelación;  $kcal / 24h$  , se determina por la ecuación 2.12.

$$Q_{p1} = \omega \cdot C_1(t_1 - t_c) \quad (2.12)$$

–  $Q_{pc}$  : Carga latente de solidificación o congelación del producto;  $kcal / 24h$  , se determina por la ecuación 2.13.

$$Q_{pc} = \omega \cdot h_c \quad (2.13)$$

–  $Q_{p2}$  : Carga de enfriamiento del producto desde su temperatura de congelación hasta la temperatura de la cámara;  $kcal / 24h$  , se determina por la ecuación 2.14.

$$Q_{p2} = \omega \cdot C_2(t_c - t) \quad (2.14)$$

- \_  $C_1$  y  $C_2$ : Calores específicos del producto antes y después de su temperatura de congelación;  $kcal / kg^{\circ}C$
- \_  $h_c$ : Calor latente de congelación del producto antes y después de su temperatura de congelación;  $kcal / kg^{\circ}C$
- \_  $t_1$ : Temperatura de entrada del producto;  $^{\circ}C$
- \_  $t_c$ : Temperatura de congelación del producto;  $^{\circ}C$
- \_  $t$ : Temperatura de la cámara;  $^{\circ}C$
- \_  $\omega$ : Masa de productos;  $kg$

Si se requiere que el tiempo de enfriamiento de un producto sea mayor o menor de 24 horas, se puede hallar la cantidad equivalente de producto a enfriar en 24 hr mediante la ecuación 2.15:

$$\omega = (24/\theta)\omega_o \quad (2.15)$$

\_ Donde:

- \_  $\omega$ : es la cantidad de producto a enfriar en 24 h;  $kg$
- \_  $\omega_o$ : Cantidad de producto a enfriar en  $\theta$  horas;  $kg$
- \_  $\theta$ : Tiempo de enfriamiento del producto, (Mayor o Menor de 24h).

#### 2.2.4- Carga de respiración de Frutas y Vegetales

En las frutas y vegetales después de separados de su fuente de vida, continua la actividad de respiración de sus células, lo cual produce una disipación de calor al aire circundante. Este calor de respiración que es distinto para cada fruta o vegetal y que aumenta con la temperatura constituye una componente más de la carga de estos productos y se determina a través de la ecuación 2.16.

$$Q_R = \omega \cdot C_R, \quad (2.16)$$

- \_ Donde:
- \_  $Q_R$  : Carga de respiración de Frutas y Vegetales; *kcal*
- \_  $C_R$  : Calor de respiración (kcal/TMd) el cual proviene del Anexo 2 y se escoge según el producto a conservar.
- \_ TMd: Tonelada métrica por día.
- \_ 1 TMd = 1000 kg/día

### 2.2.5- Carga miscelánea

Esta carga comprende la disipación de calor de las personas y equipos eléctricos dentro de la cámara y se determina por la ecuación 2.17.

$$Q_{misc} = Q_{per} + Q_{ep} \quad (2.17)$$

- \_ Donde:
- \_  $Q_{per}$  : Carga por presencia de personas; *kcal / h*
- \_  $Q_{ep}$  : Carga por equipo; *kcal / h*

#### 2.2.5.1- Carga de personas

En la tabla 2.6 se expresa el calor disipado por las personas dentro de las cámaras a distintas temperaturas de operación.

Los seres humanos dado su metabolismo emanan calor al medio que los rodea el cual será más o menos intenso según la actividad que se haga, el cálculo correspondiente se realiza a través de la ecuación 2.18.

$$Q_{per} = C_d \cdot n \quad (2.18)$$

- \_ Donde:
- \_  $C_d$  : Calor disipado por personas; *kcal / h · personas* , tabla 2.6.
- \_  $n$  : Número de personas.

**Tabla 2.6** Calor disipado por las personas

Temperatura de la Cámara, (°C)	Calor disipado, (kcal / h · personas)	Temperatura de la Cámara, (°C)	Calor disipado, (kcal / h · personas)
-24	354	-4	250
-20	342	0	234
-16	324	4	214
-12	302	8	193
-8	274	10	182

### 2.2.5.2- Carga de equipos eléctricos

Esta carga térmica proviene de dos fuentes: alumbrado y motores eléctricos. En el primer caso se sabe que 1 Watt equivale a  $0.860 \text{ kcal / h}$  ó  $20,6 \text{ kcal / 24h}$ , lo cual permite hallar esta carga dado la potencia de las lámparas de las cámaras. La carga térmica de los motores eléctricos se especifica en la tabla 2.7, teniendo en cuenta la posición del motor y su carga conectada en relación con el espacio refrigerado y la misma se determina a través de la ecuación 2.19.

$$Q_{eq} = Q_{ilum} + Q_{mot.elect} \quad (2.19)$$

\_ Donde:

La carga térmica por motores eléctricos se determina a través de la ecuación 2.20.

$$Q_{mot.elect} = N_m \quad (2.20)$$

\_ Donde:

\_  $N_m$  : Potencia del motor; kW

Se pueden presentar tres casos:

- \_ **Caso 1.** Motor dentro del local refrigerado realizando trabajo útil dentro de éste.  
(Motor de ventilador de enfriador de aire de techo.
- \_ **Caso 2.** Motor fuera del local refrigerado produciendo trabajo útil dentro de éste.  
(Motor de bomba de circulación de salmuera o agua fría, motor fuera de la cámara accionando el ventilador dentro de ésta)
- \_ **Caso 3.** Motor dentro de la cámara refrigerada realizando trabajo útil fuera de ésta.  
(Motor dentro de la cámara accionando bomba o ventilador fuera de ésta)

Dentro de los frigoríficos hay generalmente colocadas lámparas para poder ver en ellos, dada la constitución de las mismas, también desprenden calor que hay que tener en cuenta y que se determina por la ecuación 2.21.

$$Q_{ilum} = N \quad (2.21)$$

\_ Donde:

\_  $N_{ilum.}$  : Potencia eléctrica instalada; kW

### 2.2.6- Factor de seguridad y carga horaria

En este paso se concluye la metodología, sencillamente se le halla el 10% a la carga diaria total y se le suma con el objetivo de tener un coeficiente de seguridad confiable, por último, se calcula la carga horaria que consiste en dividir el valor final entre 16 ó 18 h, como lo muestra la ecuación 2.22

$$CH = (Q_{dt} + 10\%.deQ_{dt}) / 16 \text{ ó } 18h \quad (2.22)$$

\_ Donde:

\_  $CH$  : carga horaria, W

### **2.3- Conclusiones del Capítulo 2**

- \_ Quedó establecido el método de cálculo de la carga térmica para cámaras frías comerciales con un volumen interior mayor que los 42 m<sup>3</sup>.
- \_ Los instrumentos de medición empleados en la investigación son adecuados para la toma de datos por cuanto los valores medidos de los parámetros en todos los casos estuvo en el rango medición especificado en las características técnicas de los respectivos instrumentos.
- \_ Para la aplicación de la metodología establecida en este capítulo se empleará además la información suministrada por los responsables de las áreas implicadas en la investigación que se desarrolla.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, VALORACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL

### 3.1- Introducción

Tradicionalmente el desarrollo de un país impone la necesidad de materializar dos objetivos fundamentales para alcanzar los requerimientos de alimentación de la población ellos son:

1. Aumentar los niveles de conservación productos alimenticios perecederos a bajas temperaturas
2. Reducir las pérdidas manteniendo un producto de alta calidad a lo largo de toda la cadena frigorífica.

Para materializar estos requerimientos se han ido desarrollando tecnologías a lo largo de la historia, las cuales en cada momento han jugado su papel hasta llegar a estos días donde se observan importantes avances en la industria del frío, lo que ha hecho que la comercialización de las nuevas tecnologías desarrolladas sean cada vez mayor, observándose un aumento de la adquisición de las mismas en los países en vías de desarrollo motivado fundamentalmente por la obsolescencia física y moral de las instalaciones existentes y por el poco desarrollo de la industria que poseen.

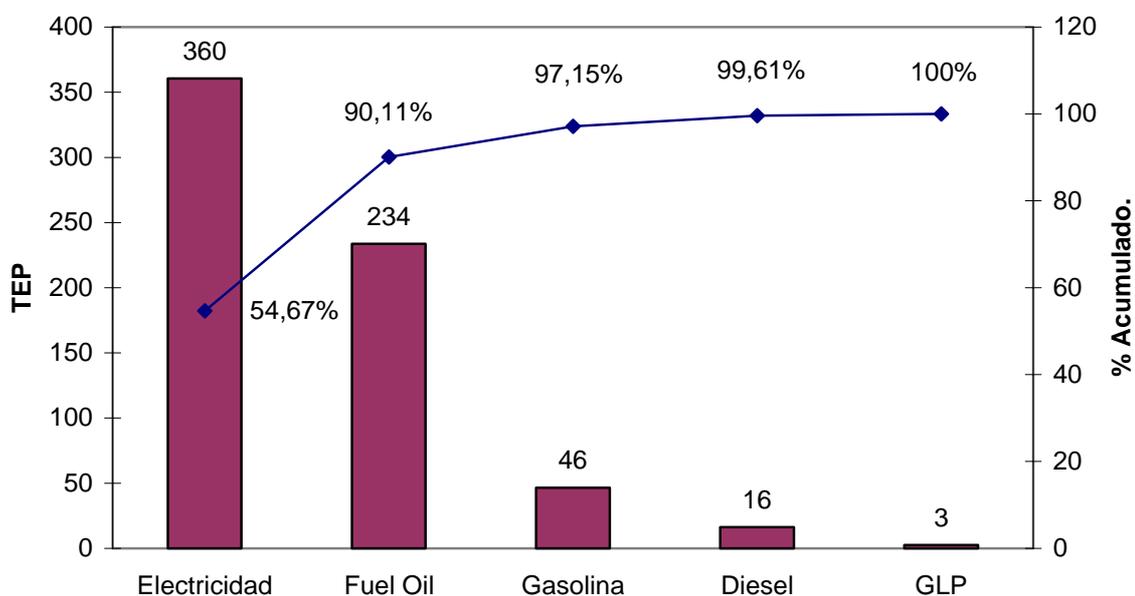
El **objetivo** del capítulo es: evaluar los resultados obtenidos en el trabajo, teniendo presente su efecto económico y medioambiental.

### 3.2- Análisis de los portadores energéticos electricidad y agua

A partir de un seguimiento del empleo de los portadores energéticos, el agua y como han influido los costos sobre el consumo de los mismos, se aplicarán las herramientas de la gestión energética en el análisis y procesamiento de la información, se identificarán los principales puestos claves de consumo de energía, para una posterior cuantificación de las pérdidas energéticas existentes en el sistema de refrigeración.

### 3.2.1- Análisis del portador electricidad

Garcés (2009), estableció en su investigación que en el año 2008 los portadores energéticos de mayor peso son Electricidad y el Fuel Oil, y es hacia ellos que se deben encaminar las acciones, debiéndose señalar que el portador que tiene mayor incidencia en los gastos de la empresa es la energía eléctrica. Esto indica que la búsqueda del mayor potencial de ahorro de energía debe estar asociada a este portador, ya que permitirá la reducción de los costos y la mejora significativa de la competitividad. Como los sistemas de refrigeración están identificados por el elevado consumo de electricidad es por ello que se evaluará su incidencia en lo mismos.



**Figura 3.1** Estructura de Consumo de Portadores Energéticos 2008. Fuente: Garcés (2009).

En la figura 3.1 se muestra el comportamiento de los principales portadores energéticos, observándose que la electricidad representa el 54,67 % del total de los portadores, el otro que le sigue en orden de importancia es el Fuel Oil con un 37 % , pero éste solo se consume para la generación de vapor en la caldera de la empresa.

El gráfico de control de la figura 3.2, muestra el comportamiento de la energía eléctrica durante el año 2008, donde se aprecia que el consumo de electricidad está dentro de los parámetros de control, a pesar de presentar anomalías a partir del mes de septiembre, donde se produjo un descenso considerable con respecto a la media, debido a la disminución de la producción en dichos meses.

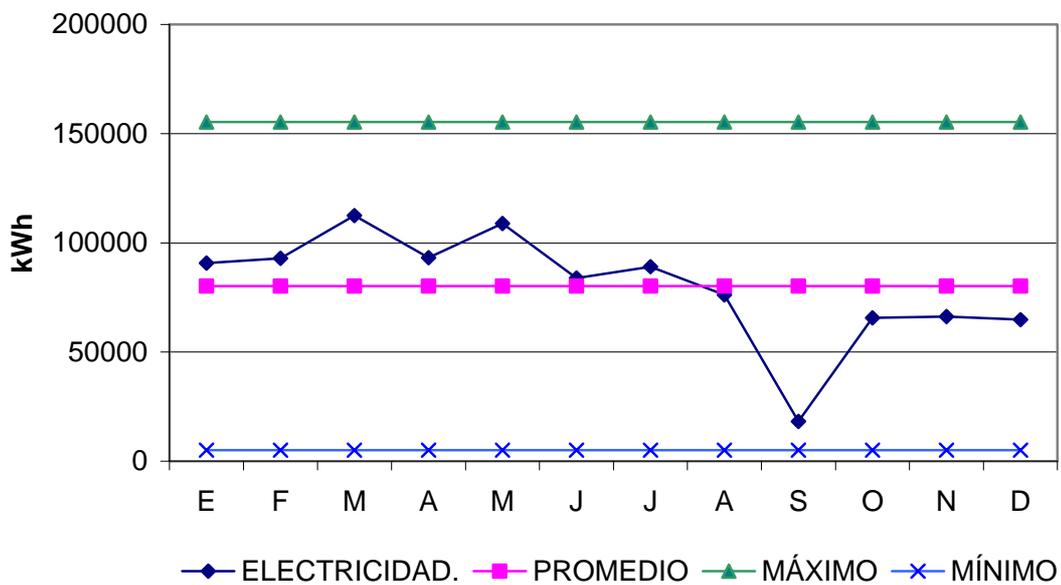


Figura 3.2 Gráfico de control del portador Electricidad. Año 2008. Fuente: Garcés (2009).

### 3.2.2- Análisis del portador Agua

Para llevar a cabo el análisis eficiente de los portadores energéticos de una entidad, se hace necesario tener en cuenta al agua como uno más de los portadores energéticos.

Cabe destacar que en el establecimiento no se lleva un estricto control con respecto al agua, a pesar de que es de vital importancia para el proceso productivo. En este caso se tomaron los consumos de agua por meses de las facturas de acueducto y alcantarillado medidas por el flujómetro ubicado a la entrada del establecimiento.

En este caso como forma experimental se tomaron las lecturas de dicho flujómetro de la empresa para ver cuanto se consume en un día típico, teniendo un consumo de 309 metros cúbicos de agua, es necesario destacar que el agua primero es depositada en el banco y luego bombeada al tanque elevado el cual tiene una capacidad de 150 m<sup>3</sup> y para un día de producción se consumen alrededor de dos veces dicho tanque.

### 3.3- Resultados del diagnóstico energético

Como parte inicial del trabajo se realizó en la empresa un diagnóstico energético de recorrido, mediante el cual se detectaron una serie de problemas que acarrearán mal funcionamiento e ineficiencias en el proceso productivo, que tributan en gran medida a los elevados consumos de energía eléctrica en la instalación. A raíz del mismo se detectaron los siguientes problemas por áreas y sistemas.

#### 3.3.1- Refrigeración.

✘ Deficiente insolación:

- en la trampa de líquido (amoníaco), 3 m ,
- en la tubería que va para el enfriador pelicular, 1 m ,
- en la parte de baja del compresor MICOM, 3 m ,
- en la parte de baja del compresor AB -100, 7 m ,
- en los empates de las tuberías de amoníaco que van para helado, 1,5 m .

✘ Mal estado de la puerta de la nevera de yogurt.

✘ Mal estado de la puerta de la nevera de helado.

#### 3.3.2- . Producción. (Sistema de agua fría).

✘ Deficiente insulación:

- en la cortina de enfriamiento de yogurt, 5 m ,
- en la tubería que va para el tanque # 1, 2.5 m,
- en la tubería que va para el tanque # 4 y 5, 5 m ,

### 3.3.3- Producción. (Sistema de agua caliente).

- ✘ Deficiente insulación:
  - en la toma de agua caliente, 1 m ,
  - en la parte trasera de la cámara térmica.
- ✘ Salidero de vapor en la parte inferior del tanque # 2.

### 3.3.4- Agua común.

- ✘ En la bomba de doble pistón que bombea la mezcla para el área de helado por concepto de enfriamiento de la misma se desperdician 8 l/min de agua en aproximadamente 2,5 horas de trabajo continuo, en total se pierden 1200 l de agua.
- ✘ En la bomba doble pistón que bombea el yogurt y el melado a los tanques 4 y 5, por concepto de enfriamiento de la misma se desperdician 3,6 l/min de agua, con un tiempo de duración del bombeado de aproximadamente 3 horas, en total se desechan en una producción de yogurt 642,8 l de agua.
- ✘ En la bomba mono pistón que bombea la mezcla desde los tanques de recepción hacia el cañón en el área de helado por concepto de enfriamiento de la misma se desperdician 3,14 l/min de agua, con un tiempo de duración del bombeado de aproximadamente 4 horas, en total se pierden en una producción de helado 754 litros de agua.
- ✘ En el Homogenizador por concepto de enfriamiento se desperdician 3 l/min de agua, con un tiempo de duración del proceso de 3,5 horas para homogenizar una mezcla de helado, significa un desperdicio de 630 l de agua.

Nota: Se debe destacar que cuando se habla de concepto de enfriamiento en el agua, es que la misma se utiliza para refrescar, preenfriar o enfriar la mezcla, ya sea de leche, yogur o helado. Para ello al agua se le extrae calor disminuyendo su temperatura en un banco (estanque o piscina) de agua helada donde alcanza valores cercanos a 0°C. Para lograr esta temperatura se utiliza el ciclo de refrigeración por compresión de vapores que emplea como refrigerante el amoniaco, al cual están conectadas las cámaras frías y es además el mayor consumidor de energía eléctrica dentro de la empresa.

### 3.3.5- Estado de las instalaciones eléctricas.

- ✘ Existe humedad en las instalaciones eléctricas ocasionando averías con frecuencia, producto a la abundante agua utilizada en el proceso tecnológico.
- ✘ Deterioro por los extensos períodos de explotación de los principales equipos, ocasionando pérdidas considerables en los portadores así como en los productos finales.
- ✘ Mal estado de las instalaciones de alumbrado.

### 3.4- Definición de los principales puestos claves de consumo de energía

Para la definición de los diferentes puestos claves se tuvo en cuenta cuales son las áreas y equipos que representan los mayores consumos de energía en la empresa, los cuales se muestran en la tabla 3.1

**Tabla. 3.1** Consumo de los puestos claves en un día típico. Fuente: Garcés (2009).

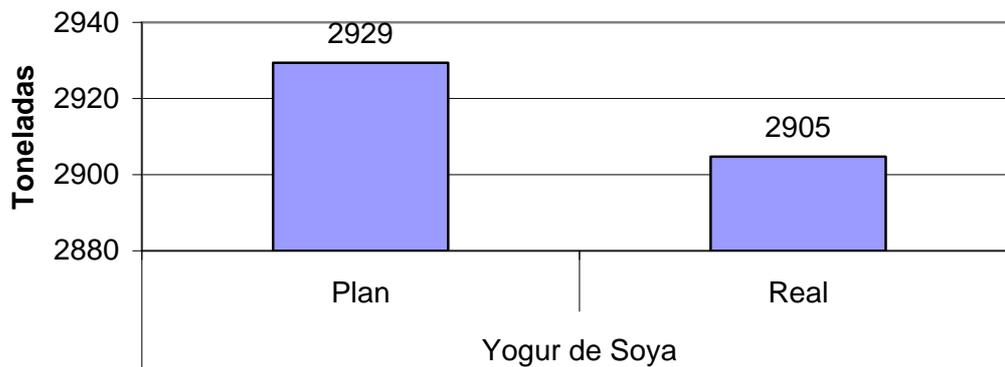
No.	Áreas	Consumo (kWh/día).
1	Refrigeración.	1963,87
2	Helado.	297,96
3	Producción.	197,62
4	Compresor de aire.	125,66
5	Caldera.	14,24

Como se puede observar en la tabla 3.1, las tres primeras áreas claves ya identificadas en trabajos precedentes están directamente relacionadas al sistema de refrigeración existente en la empresa y es hacia el cual se dirige esta investigación.

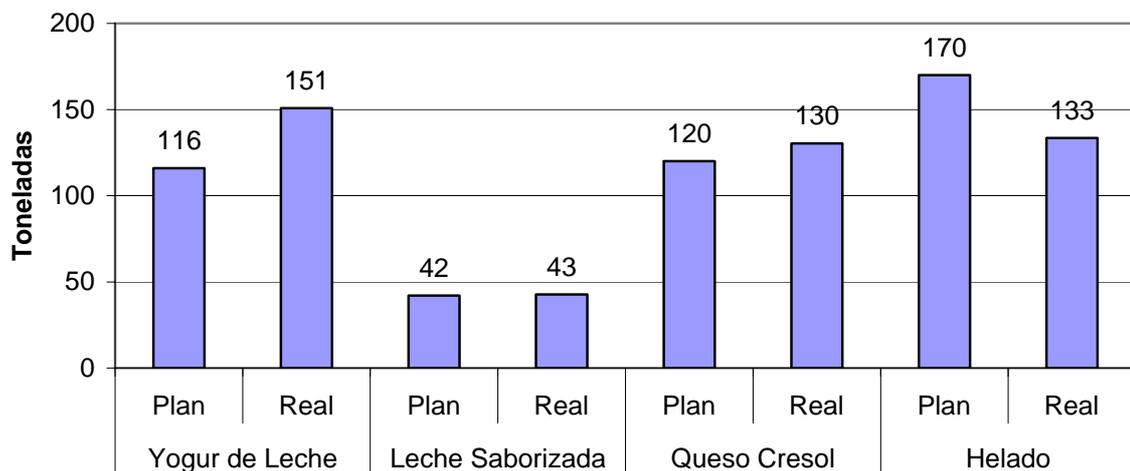
Se debe destacar que el mayor por ciento por consumo de energía eléctrica en la entidad recae sobre el área de refrigeración, la cual representa el 76 % del consumo total, seguido por el área de helado con un 11 % , el área de producción con 8 % , el compresor de aire con un 5 % , y por último la caldera con solo el 1 % del total.

**3.5- Comportamiento de la producción de lácteos en la empresa**

Como se ha observado en el desarrollo de la investigación los consumos de portadores energéticos y agua se justifican según la producción de yogur, leche, helado y queso por solo mencionar algunos, por tal motivo es imprescindible en este trabajo conocer el comportamiento de la productividad en la empresa para luego estimar las cargas térmicas asociadas al sistema de refrigeración para la conservación de dichos productos.



**Figura 3.3** Comportamiento de la producción de Yogur de Soya en el 2009



**Figura 3.4** Comportamiento de la producción de Yogur de leche, Leche Saborizada, Queso Cresol y Helado en el 2009

Las figuras 3.3 y 3.4 muestran el comportamiento de la producción Real de productos lácteos con respecto al Plan para el año 2009, observándose un incumplimiento del plan en las producciones de Helado y Yogur de Soya, lo cual estuvo provocado principalmente por la falta de materias primas y averías en el sistema de refrigeración (compresores de amoniaco).

### 3.6- Resultados principales sobre la estimación de la carga térmica

Para la estimación de la carga térmica y la evaluación de ciclo de refrigeración por compresión de vapores, primeramente se realizó la medición de los parámetros necesarios para la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo 2, así como también la obtención de otros parámetros que se encuentran tabulados en la bibliografía consultada.

#### 3.6.1- Materiales

Los parámetros medidos, así como los instrumentos de medición utilizados para la evaluación de la carga térmica en las cámaras frías analizadas, y sus respectivas características técnicas, se exponen en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Parámetros medidos durante el desarrollo de la investigación

Parámetros	Instrumentos	Características técnicas
Temperatura	Termómetro	Rango de medición (-20 a 120°C)
Dimensiones de: paredes y puertas	Cinta métrica	Rango de medición (0 a 5 m)

Para la estimación de la carga térmica de las cámaras frías del Combinado Lácteo “El Vaquerito” de Moa, se tomaron las condiciones climatológicas que aparecen en Polaina (1978), para la estación meteorológica de Cabo Lucrecia en Holguín según se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Condiciones climatológicas para Cabo Lucrecia en Holguín

Temperatura del aire exterior a la cámara, $t_e$ (°C)		Humedad Relativa (%)
Bulbo seco	Bulbo húmedo	
32,5	27,5	69
32,0	27,0	70
31,5	27,0	71

La temperatura interior para cada cámara, se establecieron según Acosta (1975), partiendo del tipo de producto a congelar o a conservar. Un resumen de los mismos se muestra en el Anexo 2. Teniendo en cuenta que según informes técnicos consultados en la empresa los rangos de temperatura en que se deben conservar los productos lácteos es amplio y comparándolos con los propuestos por Acosta (1975), se asumen valores puntuales que estén dentro de esos rangos, según se muestra en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4** Temperatura de conservación propuesta.

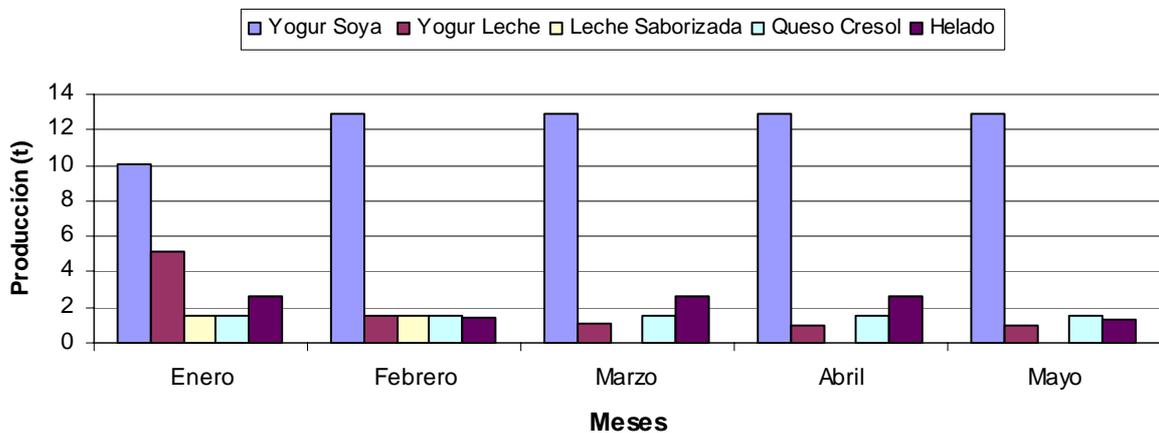
Producto	Tiempo máximo	Temperatura de la cámara $t$ (°C)		Humedad Relativa (%)
		Actual	Propuesta	
Yogur de soya	24 h	menor 8	4	80
Yogur de leche	24 h	menor 8	4	80
Mantequilla vegetal	45 días	0 a 4	4	80
Cultivo industrial	24 h	menor 8	4	80
Leche saborizada	48 h	6	4	80
Queso Crisol	48 h	2 a 8	4	80
Helado (endurecimiento)	24 h	-30 a -25	-30	85
Helado (conservación)	48 h	-30 a -25	-20	85

Para determinar las dimensiones de las cámaras se utilizó la cinta métrica de 5 m de longitud obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 3.5 para paredes y puertas.

Tabla 3.5 Dimensiones de las cámaras.

Nombre de la Cámara	Dimensiones (m)				
	Cámara			Puerta	
	Ancho <i>A</i>	Largo <i>L</i>	Alto <i>H</i>	Ancho <i>A</i>	Alto <i>H</i>
Yogur	8,4	9,16	3,4	1,29	2,08
Congelación del Helado	6,80	7	3,30	1,13	2,04
Conservación del Helado	6,80	9	3,30	1,13	2,04
Productos terminados	17,1	15,5	3,4	1,50	2,08

Un elemento importante para la estimación de la carga térmica de refrigeración es la cantidad de producto a almacenar dentro de la cámara fría. En la figura 3.5 se muestra el comportamiento de la producción diaria para el año 2010 y sobre esa base se realizan los cálculos para las condiciones actuales de trabajo. Se observa que la producción de Yogur de soja es la mayor de todas alcanzando las 12,96 t/día , seguida por el Yogur de leche que en ocasiones alcanza valores de 5,12 t/día , luego la producción de helados que oscila alrededor de las 2,64 t/día y por último la producción de leche saborizada al igual que el Queso Cresol, ambas con una producción de 1,54 t/día .

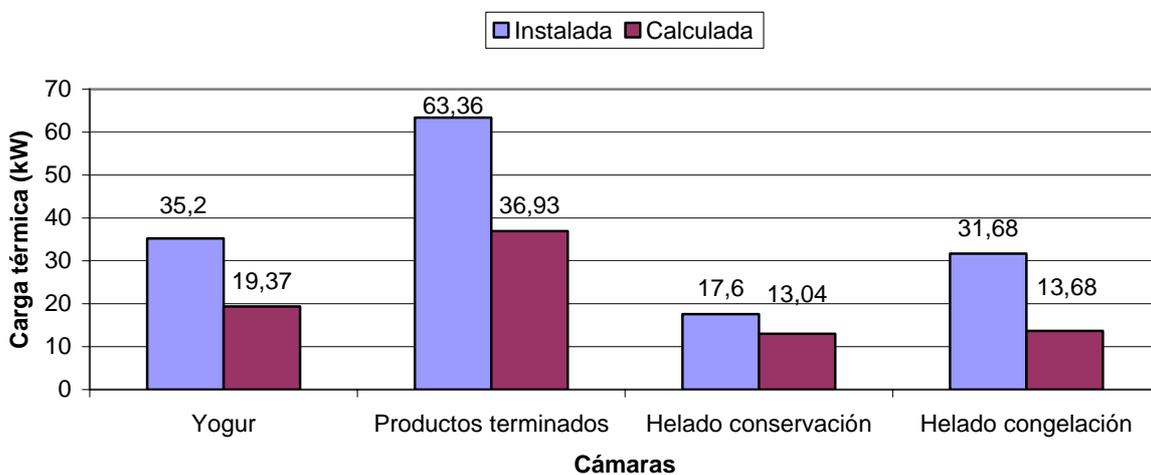


F

Figura 3.5 Comportamiento de la producción diaria de productos lácteos (2010)

### 3.6.2- Cálculo de la carga térmica de refrigeración

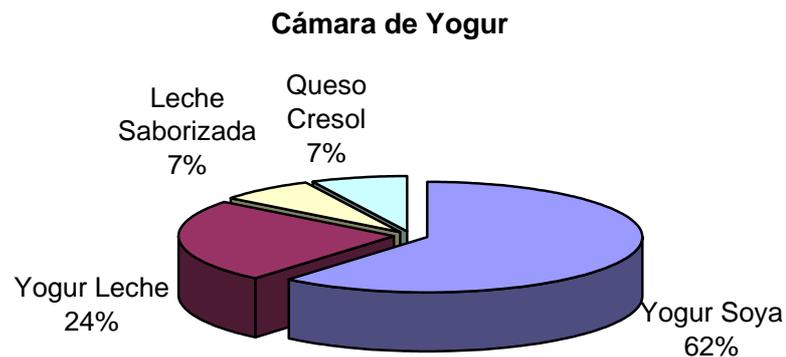
Para la estimación de las diferentes ganancias de calor que conforman las cargas térmicas de las cámaras frías para la congelación y conservación de productos lácteos, es necesario conocer un grupo de parámetros que se emplean en las ecuaciones que caracterizan cada uno de los elementos que aportan calor, tanto sensibles como latente, y desde el exterior como del interior de la cámara, los cuales se relacionan en la hoja de cálculo confeccionada con ayuda del Software profesional Mathcad 13 y que se muestra en el Anexo 1. A través del mismo se obtuvieron las capacidades de refrigeración de las cámaras frías que se encuentran funcionando para así garantizar la calidad del producto final. En la figura 3.6 se muestra una comparación entre la carga térmica según criterios de la empresa y la calculada, observándose que esa última es menor que la instalada. Como se puede observar la cámara de mayor capacidad es Productos terminados, por tener mayor volumen, incrementándose las ganancias por estructuras e infiltración, que son las que dependen de las dimensiones de la misma. Le sigue la cámara para conservación de Yogur, que es la que conserva la mayor cantidad de productos lácteos con relación al volumen interno de la misma.



F

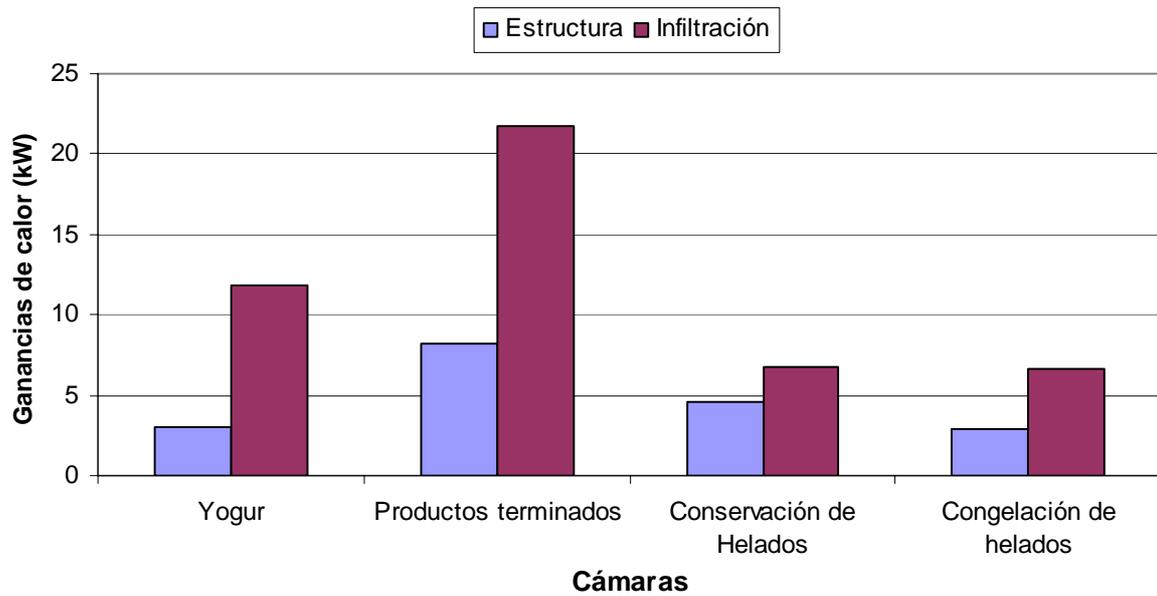
Figura 3.6 Comparación entre la carga térmica instalada y la de cálculo.

Luego en la figura 3.7 se observa la distribución en por cientos de los productos que se conservan en la cámara de Yogur, siendo los de mayor incidencia el Yogur de Soya y de leche con un 62 y 24 % del total respectivamente. La Leche saborizada y el Queso Cresol representan solo el 7 % cada uno y no existe una producción diaria y continua de los mismos.



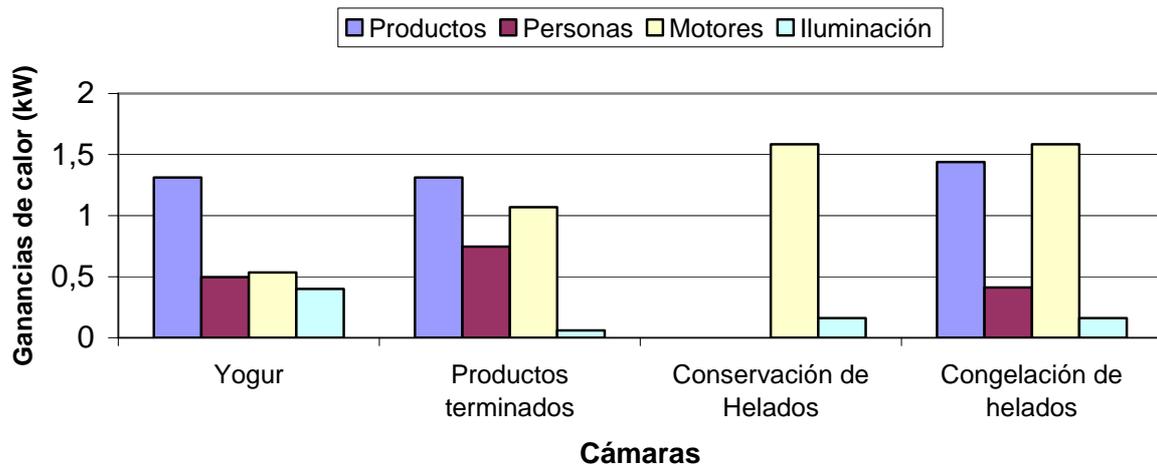
**Figura 3.7** Distribución de los productos en la cámara para la conservación de yogur

Dentro de las ganancias de calor que conforman la carga térmica de las cámaras frías estudiadas se destacan aquellas que se pueden identificar como fijas, es decir las ganancias por estructuras y por infiltración, debido a que las mismas dependen principalmente de las dimensiones, del área y el volumen de la cámara, así como de las condiciones climatológicas de la región y de conservación y/o congelación del producto. Para las condiciones actuales de explotación las mismas tienen mayor incidencia en la carga térmica que las demás ganancias de calor. Según se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3.8** Comportamiento de las ganancias de calor por estructura e infiltración.

A diferencia de la figura 3.8, en la 3.9 se muestran los comportamientos de las restantes ganancias de calor, sobre las cuales se puede incidir, con la finalidad de garantizar el uso eficiente de la instalación. Por ejemplo; si los productos a almacenar ocuparan todo el volumen útil de la cámara y se utiliza la iluminación necesaria con lámparas ahorradoras, así como motores eléctricos eficientes para los difusores, se disminuiría la carga térmica de enfriamiento y los consumos de energía eléctrica, incrementándose los índices de producción y energéticos. Se debe destacar que para el caso de específico de las cámaras de yogur y helados los productos ocupan solo entre el 15 y el 5 % del volumen total de la cámara respectivamente. Ver Anexo 4.



**Figura 3.9** Comportamiento de las ganancias de calor por productos y misceláneas.

A partir de los resultados obtenidos se procedió al análisis de la capacidad instalada en la casa de compresores, con el objetivo de verificar si estos equipos satisfacen la demanda de frío de la instalación. Se pudo comprobar según aparece en la tabla 3.6 que la capacidad total instalada es de 361,24 kW , a la cual restándole la demanda del Banco de agua helada que es de 63,36 kW , quedarían 297,88 kW de reserva donde para las condiciones actuales de explotación de la instalación serían suficiente 83,02 kW , quedando de reserva 214,86 kW . Es decir, un solo compresor de los instalados pudiera dar la capacidad de refrigeración necesaria para la producción actual, pero es necesario el mantenimiento a los compresores, que garantice la disponibilidad de los mismos, ya que los dos de fabricación Rusa, están en muy mal estado, presentando salideros de aceite y de gases de amoniaco.

**Tabla 3.6** Características de los compresores instalados en la empresa.

Marcas	Modelo	Capacidad		Potencia (kW)
		(kW)	(TR)	
URSS	Dau – 50	104,67	30	40
URSS	AB – 100	104,67	30	40
Dahon	Chino	151,90	43	75
<b>Total</b>		<b>361,24</b>	<b>103</b>	

### 3.6.3- Evaluación del ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Una vez estimada la carga térmica de refrigeración para las diferentes cámaras frías de la instalación en estudio se procedió a la determinación de los parámetros que caracterizan el ciclo de refrigeración. Permitiendo determinar que el mismo debe operar según un ciclo de dos etapas debido a que su relación de compresión alcanza un valor igual a 20,5 , lo que justifica la utilización de un ciclo de dos etapas con enfriamiento intermedio completo. Se debe destacar que estos sistemas de múltiples etapas garantizan un menor trabajo teórico en el compresor, así como garantiza que el amoniaco no alcance valores muy elevados evitando así cualquier tipo de accidente.

Actualmente la instalación posee compresores de simple efecto lo que no garantiza el ahorro de energía requerido, debido a que en la concepción original del Combinado Lácteo de Moa, no existía la cámara de congelación de helados, ni se fabricaba helados en dicha instalación, solo existía la una cámara para la conservación de helados y la misma trabajaba con varios sistemas de unidades condensadoras que utilizaban Freón 11 como refrigerante. Todo esto trajo aparejado que se realizaran modificaciones a la instalación pero no se cambiaron los compresores. En los Anexos 5 y 6 se pueden observar el esquema y el diagrama del ciclo de compresión de vapor propuesto en este trabajo. Además en el Anexo 1 aparecen los cálculos relacionado con la evaluación del ciclo de refrigeración.

### 3.7- Valoración económica

La valoración económica está dirigida en dos direcciones principales:

- ✘ La primera en función de medidas organizativas que garanticen en un corto plazo el uso eficiente de los portadores energéticos.
  - Apagar los agitadores de los tanques de envejecimiento de la mezcla de helado durante 2 horas, lo cual no afecta la calidad del producto, ahorrándose por este concepto 0,213 MWh/mes, lo que representa un ahorro de \$72,42 CUP/mes.



- Apagar los difusores de las neveras 3 horas en el horario de la madrugada, sin afectar el rendimiento en los productos, ahorrándose 0,9225 MWh , representando \$ 313,65 CUP/mes.
  - Al aprovechar los 3288,5 litros de agua diarios que se pierden por concepto de enfriamiento de las bombas y el homogenizador, se ahorran \$ 29,6 CUP/mes.
  - Para bombear los 3288.5 litros de agua diarios que se desperdician en el enfriamiento de las bombas y el homogenizador, se consumen aproximadamente 3.69 MWh al mes, lo que representa \$1254.6 CUP. Si esta agua fuera reutilizada dichas pérdidas significarían un ahorro sustancial.
- ✘ La segunda en función del lograr un aprovechamiento de los recursos energéticos en la instalación.

Según la tabla 3.6 quedó demostrado que la capacidad instalada en los compresores de amoníaco, satisface la demanda de refrigeración para los niveles de producción actual, pero las potencialidades de ahorro radican en disminuir las pérdidas en todo el sistema. Para tener una idea de lo que se plantea se debe partir de que en el sistema se pierden aproximadamente 17,74 l/m de agua de enfriamiento, según se comprobó durante el desarrollo de la investigación, la cual fue necesario enfriar desde los 29 hasta 0°C y entregando una cantidad de calor equivalente a 37 kW , que forman parte de la carga térmica del banco de agua helada y debe ser absorbido por el ciclo de refrigeración. Incrementando los consumos de energía eléctrica en la empresa.

### 3.8- Valoración ambiental

Es de gran importancia el estudio de los recipientes y tuberías que almacenan y transportan amoníaco, debido al alto grado de peligrosidad para el ser humano y el medio ambiente.

Existen desastres de origen natural, como lo son huracanes, los terremotos, las erupciones, las avalanchas, las inundaciones, los incendios y los maremotos. A estos desastres se unen los desastres tecnológicos, que en su gran mayoría tienen su origen en un descuido humano, como lo son derrames de sustancias químicas en el mar, en el suelo o en la atmósfera. Por lo regular estos desastres tecnológicos de origen químico

proviene del uso de la energía nuclear, los producidos por derrames de productos tóxicos y materiales peligrosos y los incendios debido al manejo de sustancias inflamables y la contaminación atmosférica. Representado todos ellos una amenaza para el equilibrio ecológico.

Cabe mencionar que el uso del amoníaco cuenta con algunas características como son: no destruye la capa de ozono (como los refrigerantes clorofluorocarbonos - CFC'S), no favorece al efecto invernadero y por su olor avisa en caso de fuga. No dejando de ser una sustancia riesgosa para el uso del ser humano.

Sin embargo el buen uso y manejo de sustancias químicas evita la mayoría de los grandes accidentes. En otro aspecto, el mantenimiento constante de instalaciones, la lucha contra la corrosión, el empleo de equipos adecuados y la capacitación exhaustiva de obreros, técnicos e ingenieros, es vital.

### **3.8.1- Daños a la salud causados por el NH<sub>3</sub>.**

- ✓ Irritación de los ojos.
- ✓ Falta de aire.
- ✓ Paros respiratorio.
- ✓ La muerte.

### **3.8.2- Medidas a tener presente en una Instalación de NH<sub>3</sub>.**

1. Colocar señales de advertencia visible que indiquen la presencia de amoníaco.
2. Se prohíbe fumar dentro de la instalación.
3. Se prohíbe usar focos calientes dentro de la cámara.
4. No utilizar instrumentos que provoquen chispas.
5. Las personas que entren a la instalación deben dominar las medidas de seguridad.
6. El alumbrado de la instalación debe estar acorde a los requerimientos de la instalación.
7. Se prohíbe el método de descongelación por medio de resistencias eléctricas.
8. Las puertas de la cámara deben tener botadores que permitan abrirla desde adentro.

9. Se recomienda en el piso de la cámara la presencia de madera para evitar accidentes.
10. Las paredes deben estar en buen estado higiénico sanitario, pintadas con cal viva o pinturas especiales.

### **3.8.3- Medidas a tener en cuenta en el cuarto de máquina.**

En la caseta debe existir una ventilación cruzada que garantice la no concentración de  $\text{NH}_3$  si se produce un escape.

- \_ Los interruptores deben estar fuera de la caseta para que permita la desconexión del sistema sin penetrar a ella.
- \_ Que la entrada a la caseta sea solo para personal autorizado.
- \_ Disponer de un área contra incendios.
- \_ Todos los materiales usados en la construcción de la instalación deben ser incombustibles.

### **3.9- Conclusiones del Capítulo 3**

- La empresa muestra una incorrecta explotación de la instalación objeto de estudio por debido principalmente al ineficiente aprovechamiento del volumen de la misma.
- Se observó que el área de refrigeración representa el 75 % del consumo total de energía eléctrica en la empresa.

## CONCLUSIONES

- El análisis bibliográfico permitió establecer los procedimientos necesarios para el diagnóstico y la evaluación del sistema de refrigeración en el Combinado Lacteo de Moa.
- Se demostró que el portador energético de mayor importancia es la electricidad que representa el 54,67 % del total y dentro de ésta el sistema de refrigeración con el 76 % del consumo total.
- La producción de lácteos está muy por debajo de los planes concebidos por diseño, siendo la mayor producción la de yogur de soya con 12 t/día, trayendo como resultado que solo se utilice entre el 5 y 15 % del volumen total de las cámaras de helado y yogur respectivamente.
- La diferencia entre la carga térmica calculada y la instalada es de 64,82 kW , debido principalmente a la baja productividad en la empresa,
- Las mayores ganancias de calor que debe vencer el sistema de refrigeración es producto a estructuras e infiltración, las cuales representan alrededor del 85 % del total.
- Se comprobó que con la inclusión de la cámara de helados en el ciclo de refrigeración por compresión de amoníaco, se impone la necesidad de emplear un ciclo de dos etapas, reportando así un ahorro con respecto al trabajo del compresor.
- Se demuestra que llevando a cabo un grupo de medidas organizativas se puede ahorrar en muy corto plazo mucho más de 20 043,24 CUP/año .

### **RECOMENDACIONES**

- Continuar con el estudio de las demás instalaciones que componen el área de refrigeración para evaluar su impacto económico en los costos de producción.
- Evaluar si es factible económicamente el empleo de paneles aislantes para seccionar las cámaras frías, haciendo un uso más eficiente de su volumen y disminuyendo así las ganancias por estructuras e infiltración.
- Realizar acciones que garanticen la eliminación de las pérdidas por mala insulación y salideros de agua, amoníaco y mezclas de productos lácteos.
- Realizar un estudio energético integral en la empresa a partir de los resultados aquí expuestos, de manera que permita conocer de manera integral las pérdidas de energía y su costo, así como cuanto se necesita para su explotación eficiente.
- Cumplir con las normas de seguridad durante el uso y explotación del amoníaco en la instalación.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Acosta Marrero, G. Cálculo de carga térmica de cámaras de refrigeración. Energética. Vol. XIII, No. 4, 1975.
2. Bautista O., F. Méndez; et al. Ciclo endorreversible de refrigeración con tres fuentes de calor con capacidad térmica finita. Termo energía. [en línea].[consultada en:2009-09-22 ], 2000. Disponible en: <http://www.energia.com>
3. Borroto Nordelo, A.E; et. al. Libro de Gestión Energética en el sector productivo y los servicios. Cienfuegos: Centro de estudios de energía y medio ambiente (CEEMA), 2006
4. Castro, Walesca. Funciones que deben cumplir un lubricante para compresores de refrigeración Separata Técnica, Abril 2001, numero 13, pagina 1
5. Campos Avella, J. C. La eficiencia energética en la competitividad de empresas. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos, 1998.
6. Cruz Viera L.y Gandón Hernández J.. Determinación de los índices de consumo energético en una planta de productos lácteos. Energética [en línea]. Consultado: 2009-09-28, Vol. XXIII, No. 1/2003. Disponible en: <http://intranet.cujae.edu.cu/revista/energetica.htm>.
7. Douglas T. Reindl; et al. Purgadores automáticos en los sistemas de refrigeración. Energía. [En línea]. [Consultada en: 2009-09-24], Febrero 2003. Disponible en: <http://www.energia.com>
8. Garcés Gallardo K.L. Sistema para la Gestión Energética en el Combinado Lácteo " El Vaquerito " de Moa. Secundino Marrero Ramírez (tutor). Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2009.pag 78.
9. Guerra Fernández, Yuniel. Valoración crítica de la situación actual de la planta de fabricación de hielo del Municipio de Moa. Ever Góngora Leyva (tutor). Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2005.pag 84.
10. Ginés Alfaro Vives, Orlando.; et al. Alternativas para el tratamiento de los residuales del combinado lácteo Santiago. Tecnología química [en línea]. Consultado: 2009-09-28, Vol. XXII, No. 1, 2002. Disponible en: <http://uo.edu.cu//revista/refrigeracion.htm>

11. Hernández Batista, O. E. Gestión Energética en el Hotel Miraflores. Moa. 2008. Reineris Montero Laurencio; Marislaidis Reyes Locadio. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2008.
12. Mendoza Rodríguez, Adán. Máquina frigorífica de expansión directa. Wikipedia, la enciclopedia libre. [en línea]. [Consultado: 2009-10-02], 2006. Disponible en: <http://es.Wikipedi.org/wiki/>
13. Restrepo, H.A, Fernández, L.A y Grajales, D.V. Estudio y análisis de estrategias de ahorro de energía usando el software (Engineerin Equation Solver) para la empresa Frigorífico de .Pereira S.A. Scientia et Technica.[en línea]. [Consultado: 2009-10-06], 2007. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/>
14. Ovidio Santos R. Sistemas de absorción, su impacto energético-ambiental. Energía. [En línea]. [Consultada en: 2009-09-25] 2003. Disponible en: <http://www.energia.com>
15. Sánchez Torres, R. Eficiencia Energética en el Combinado Lácteo Rafael Freyre Torres. Gabriel Hernández Rodríguez. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
16. Vian, J.G.; Astrain, D. Estudio comparativo de carga óptima entre los refrigerantes CFC-12, HC-600a y HFC-134a en un refrigerador doméstico de última generación, Energía, septiembre 2001, paginas 137- 146p, edición electrónica.
17. Viego Felipe, V; et. al. Maestría Eficiencia Energética: Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Cienfuegos: Editorial Universo Sur, 2007.

**Anexo 1:**

**Cálculo de la carga térmica de refrigeración**

Condiciones climatológicas según estación meteorológica de Cabo Lucrecia en Holguín, Polaina (1987).

$n := 0, 1..3$

Temperatura del exterior

$T_{ext} := 305.65 \cdot K$

$T_{ext} = 32.5 \text{ } ^\circ C$

Calor específico por sobre la temperatura de congelación

$C_{1_n} :=$

$0.64 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot (\text{kg} \cdot K)^{-1}$	Yogur
$0.64 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot (\text{kg} \cdot K)^{-1}$	Productos terminados
$0.78 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot (\text{kg} \cdot K)^{-1}$	Helados (conservación)
$0.45 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot (\text{kg} \cdot K)^{-1}$	Helados (congelación)

Temperatura de la cámara

$T_{c_n} :=$

277.15 · K	Yogur; 4°C
277.15 · K	Productos terminados; 4°C
253.15 · K	Helados (conservación); -20°C
243.15 · K	Helados (congelación); -30°C

Considerando que el Helado sale de la máquina a -5°C y que su temperatura de congelación es de -1,9°C , entonces en la cámara de congelación solo se tiene en cuenta el calor aportado desde su temperatura de congelación hasta la temperatura de la cámara

**1- Carga por transmisión del calor por conducción a través de las paredes**

Coefficiente global de transferencia de calor para Cámaras de:

$K_{nc_n} :=$

$0.41 W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	Conservación
$0.41 W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	Conservación
$0.41 W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	Conservación
$0.25 W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	Congelación

Conductividad térmica: Poliespuma. Tabla 2.2

$\lambda := 0.04 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{cal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot K}$

Espesor del material

Espesor estandarizado: Tabla 2.1

$\delta_{nc_n} := \frac{\lambda}{K_{nc_n}}$

$\delta_{nc_n} =$

113.463
113.463
113.463
186.08

mm

$\delta_{est_n} :=$

125mm
125mm
125mm
200mm

**Anexo 1: Continuación**

*Dimensiones interiores de la cámara*

Largo Ancho Alto  
 $L_{int.c_n} := A_{int.c_n} := H_{int.c_n} :=$

9.16m	8.4m	3.4·m	Yogurt
15.5·m	17.1m	3.4·m	Productos terminados
9·m	6.8m	3.3·m	Helados (conservación)
7m	6.8m	3.3·m	Helados (congelación)

*Coefficiente global de transferencia de calor estandarizado*

$K_{est} := \frac{\lambda}{\delta_{est}}$   $K_{est_n} =$

0.372	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
0.372	
0.372	
0.233	

*Dimensiones exteriores de la cámara*

Largo Ancho Alto  
 $L_{ext.n} := \delta_{est_n} + L_{int.c_n}$   $A_{ext.n} := \delta_{est_n} + A_{int.c_n}$   $H_{ext.n} := \delta_{est_n} + H_{int.c_n}$

*Área exterior total de la cámara*

$S_{ext.c_n} := 2 \cdot (L_{ext.n} \cdot H_{ext.n} + L_{ext.n} \cdot A_{ext.n} + A_{ext.n} \cdot H_{ext.n})$

$S_{ext.c_n} =$  *Volumen interior de la cámara*  

283.87	$m^2$	$V_{int.c_n} := L_{int.c_n} \cdot A_{int.c_n} \cdot H_{int.c_n}$
769.874		
236.324		
200.2		

261.61	$m^3$
901.17	
201.96	
157.08	

*Carga por trasmisión del calor*

$Q_{a_n} := S_{ext.c_n} \cdot (T_{ext} - T_{c_n}) \cdot K_{est_n}$

$Q_{a_n} =$

3.011·103	W
8.166·103	
4.617·103	
2.91·103	

**2- Carga de infiltración**

*Renovación del aire. Tabla 2.3*

$N_{aire_n} :=$

4.7·hr <sup>-1</sup>	Yogurt
2.5·hr <sup>-1</sup>	Productos terminados
1.9·hr <sup>-1</sup>	Helados (conservación)
2·hr <sup>-1</sup>	Helados (congelación)

*Humedad específica interior de la cámara*

$W_{int_n} := \frac{kgva}{kgas}$

0.004021
0.004021
0.000539
0.000198

*Humedad específica en el exterior de la cámara, según Polaina (1987), y con ayuda del Software PSICRO94*

$W_{ext} := 0.03156 \frac{kgva}{kgas}$

**Anexo 1: Continuación**

*Carga de infiltración Sensible*

$$Q_{vsec_n} := 0.29 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} V_{int.c_n} \cdot N_{aire_n} \cdot (T_{ext} - T_{c_n})$$

$Q_{vsec_n} =$

1.182·104	W
2.166·104	
6.794·103	
6.622·103	

*Carga de infiltración Latente*

$$Q_{vlat_n} := 0.71 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \cdot V_{int.c_n} \cdot N_{aire_n} \cdot (W_{ext} - W_{int_n})$$

$Q_{vlat_n} =$

27.96	W
51.231	
9.829	
8.136	

*Carga total de infiltración*

$$Q_{v_n} := (Q_{vsec_n} + Q_{vlat_n})$$

$Q_{v_n} =$

1.185·104	W
2.171·104	
6.804·103	
6.63·103	

**3- Carga del producto**

*Temperatura a la que entra el producto a la cámara*    *Cantidad de producto que entra diario*

$T_{ent.p_n} :=$

279.15·K	Yogur; 6°C
279.15·K	Productos terminados; 6°C
243.15·K	Helados (conservación); -30°C
268.15·K	Helados (congelación); -5°C

$\omega_n :=$

49680·kg
21157.8·kg
2640·kg
2640·kg

$Q_{p_n} := \frac{\omega_n \cdot [C_{1_n} \cdot (T_{ent.p_n} - T_{c_n})]}{24 \cdot \text{hr}}$

$Q_{p_n} =$

3.081·103	W
1.312·103	
-997.854	
1.439·103	

**Anexo 1: Continuación**

**4- Carga miscelánea**

Calor disipado por persona en función de la temperatura de la cámara. Tabla 2.6

$C_{d_n} :=$	Número de personas $np_n :=$	<u>Carga por personas</u> $Q_{per_n} := C_{d_n} \cdot np_n$
$214 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot \text{hr}^{-1}$	2	$Q_{per_n} =$
$214 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot \text{hr}^{-1}$	3	497.764 W
$342 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot \text{hr}^{-1}$	1	746.646
$354 \cdot 10^3 \cdot \text{cal} \cdot \text{hr}^{-1}$	1	397.746
		411.702

Carga térmica por motores eléctricos

$N_{m_n} :=$	Potencia del motor
222.75W	3 Motores (74 W)
445.5W	6 Motores (74 W)
660W	10 Motores (66 W)
660W	10 Motores (66 W)

$Q_{mot.elect_n} := N_{m_n}$	$Q_{mot.elect_n} =$
222.75	W
445.5	
660	
660	

Carga por iluminación

$N_{elec_n} :=$	Potencia de la lámpara
400W	8 Lámparas (40 W x1.25)
600W	12 Lámparas (40 W x1.25)
160W	2 Bombillos (80 W)
160W	2 Bombillos (80 W)

$Q_{ilum_n} := N_{elec_n}$	$Q_{ilum_n} =$
400	W
600	
160	
160	

**5- Carga total diaria**

$$Qdt_n := Q_{a_n} + Q_{v_n} + Q_{p_n} + Q_{per_n} + Q_{mot.elect_n} + Q_{ilum_n}$$

$Qdt_n =$	$CH_n := Qdt_n + 10\% \cdot Qdt_n \cdot \frac{24 \cdot \text{hr}}{20 \cdot \text{hr}}$
$1.906 \cdot 10^4$ W	$CH_n =$
$3.298 \cdot 10^4$	$2.135 \cdot 10^4$ W
$1.164 \cdot 10^4$	$3.693 \cdot 10^4$
$1.221 \cdot 10^4$	$1.304 \cdot 10^4$
	$1.368 \cdot 10^4$

$$Q_o := \sum_{n=0}^3 CH_n$$

$$Q_o = 8.5 \times 10^4 \text{ W}$$

$$CH0 := \frac{Q_o}{3024 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}$$

$$CH0 = 24.168 \text{ TR}$$



**Anexo 1: Continuación**

**Evaluación del ciclo de refrigeración para NH<sub>3</sub>**

*Temperatura de ebullición*

$$T_{O_3} := T_{C_3} - 8K$$

$$T_{O_3} = 235.15 K$$

$$T_{O_3} = -38^\circ C$$

*Temperatura de condensación*

$$T_k := T_{ext} + 6 \cdot K$$

$$T_k = 311.65 K$$

$$T_k = 38.5^\circ C$$

*Presión condensador*

$$P_k := 16bar$$

*Presión evaporador*

$$P_o := 0.78bar$$

*Relación de compresión*

$$\gamma_c := \frac{P_k}{P_o}$$

$$\gamma_c = 20.513$$

*Ciclo de dos etapas*

*Presión intermedia*

$$P_{int.} := \sqrt{P_k \cdot P_o}$$

$$P_{int.} = 3.533 bar$$

*Entalpías*

Succión compresor de baja

$$h_1 := 1410 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg}$$

Descarga compresor baja

$$h_2 := 1600 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg}$$

Succión compresor de alta

$$h_3 := 1450 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg}$$

Descarga compresor alta

$$h_4 := 1650 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg}$$

Salida del condensador

$$h_5 := 380 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg} \quad h_6 := h_5$$

Entrada del evaporador

$$h_7 := 175 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg} \quad h_8 := h_7$$

*Capacidad frigorífica*

$$Q_o = 8.5 \times 10^4 W$$

Efecto frigorífico

$$q_o := h_1 - h_8$$

$$q_o = 1.235 \times 10^6 \frac{J}{kg}$$

*Flujo másico del refrigerante*

Baja presión

$$G_{BP} := \frac{Q_o}{q_o}$$

$$G_{BP} = 0.069 \frac{kg}{s}$$

Alta presión

$$G_{AP} := \frac{G_{BP} \cdot (h_2 - h_7) + CH_1 + CH_2}{h_3 - h_6}$$

$$G_{AP} = 0.138 \frac{kg}{s}$$

Trabajo compresor

Baja presión

$$W_{CBP} := h_2 - h_1$$

$$W_{CBP} = 1.9 \times 10^5 \frac{J}{kg}$$

Alta presión

$$W_{CAP} := h_4 - h_3$$

$$W_{CAP} = 2 \times 10^5 \frac{J}{kg}$$



**Anexo 1: Continuación**

Calor cedido en el condensador

$$q_k := h_4 - h_5$$

$$q_k = 1.27 \times 10^6 \frac{J}{kg}$$

Calor total cedido

$$Q_k := G_{AP} \cdot q_k$$

$$Q_k = 1.757 \times 10^5 \text{ W}$$

Potencia

Baja presión

$$N_{CBP} := G_{BP} \cdot W_{CBP}$$

$$N_{CBP} = 1.308 \times 10^4 \text{ W}$$

Alta presión

$$N_{CAP} := G_{AP} \cdot W_{CAP}$$

$$N_{CAP} = 2.767 \times 10^4 \text{ W}$$

Coefficiente de funcionamiento Carnot

Real

$$COP_R := \frac{Q_o}{N_{CBP} + N_{CAP}}$$

$$COP_R = 2.086$$

$$COP_{C_3} := \frac{T_{O_3}}{T_k - T_{O_3}}$$

$$COP_{C_3} = 3.074$$

Rendimiento

$$\eta_3 := \frac{COP_R}{COP_{C_3}}$$

$$\eta_3 = 0.679$$

**Cálculo de las pérdidas de energía por concepto de agua de enfriamiento.**

$$m_{vaf} := 17.74 \cdot \frac{L}{min}$$

$$m_{vaf} = 1.064 \frac{m^3}{hr}$$

Flujo volumétrico de agua de enfriamiento que se pierde al medio ambiente

Densidad del agua

$$\rho_{agua} := 995.025 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{maf} := m_{vaf} \cdot \rho_{agua}$$

Flujo másico de agua de enfriamiento que se pierde al medio ambiente

$$C_{pa} := 4178 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$$

Calor específico del agua a la temperatura de 29°C

$$T_a := 303.15 \cdot K$$

Temperatura de entrada del agua al estanque

$$T_a = 30^\circ C$$

$$T_{af} := 273.15 \cdot K$$

Temperatura de salida del agua del estanque

$$T_{af} = 0^\circ C$$

$$Q_{af} := m_{maf} \cdot C_{pa} \cdot (T_a - T_{af})$$

$$Q_{af} = 36.874 \text{ kW}$$

Calor que entregado por el agua y es absorbido por el sistema de refrigeración

$$TR_a := \frac{Q_{af}}{3.52 \cdot kW}$$

$$TR_a = 10.476$$

Anexo 2.

Datos para almacenamiento de productos lácteos

Producto	Almacén		Temperatura (°C)		HR (%)		Cp		Calor Latente (kcal/kg)	Tc (°C)	Contenido de agua %	Cr (Kcal/TM d)	Vaire (m/s)	Enfriador indicado
	Tiempo	Tiempo Máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre Tc	Bajo Tc						
Helado	Cor Lar	2s		-17,8 a -12,2 -28,9 a -17,8	85C 85C		0,78	0,45	29,7	-1,9	60,0		1,25 1,25	S S
Mantequilla	Cor Lar	10d 6m	4,4 -17,8	1,7 a 7,2 -20,6 a -17,8	80C 85	75 a 80 80 a 85	0,64	0,34	8,3	-1,1	15,0		0,75 1,25	S S
Queso	Cor Lar	15m	4,4 0,0	4,4 a 7,2 0,0 a 1,1	80B 80B	75 a 80 75 a 80	0,64	0,36	43,9	-8,3	55,0	1301 (4°)	0,45 0,45	S S o B
Leche	Cor	5d	1,7	1,7 a 4,4	70C	65 a 75	0,90	0,49	68,9	-0,6	87,5		1,25	S o B

**NOMENCLATURA:**

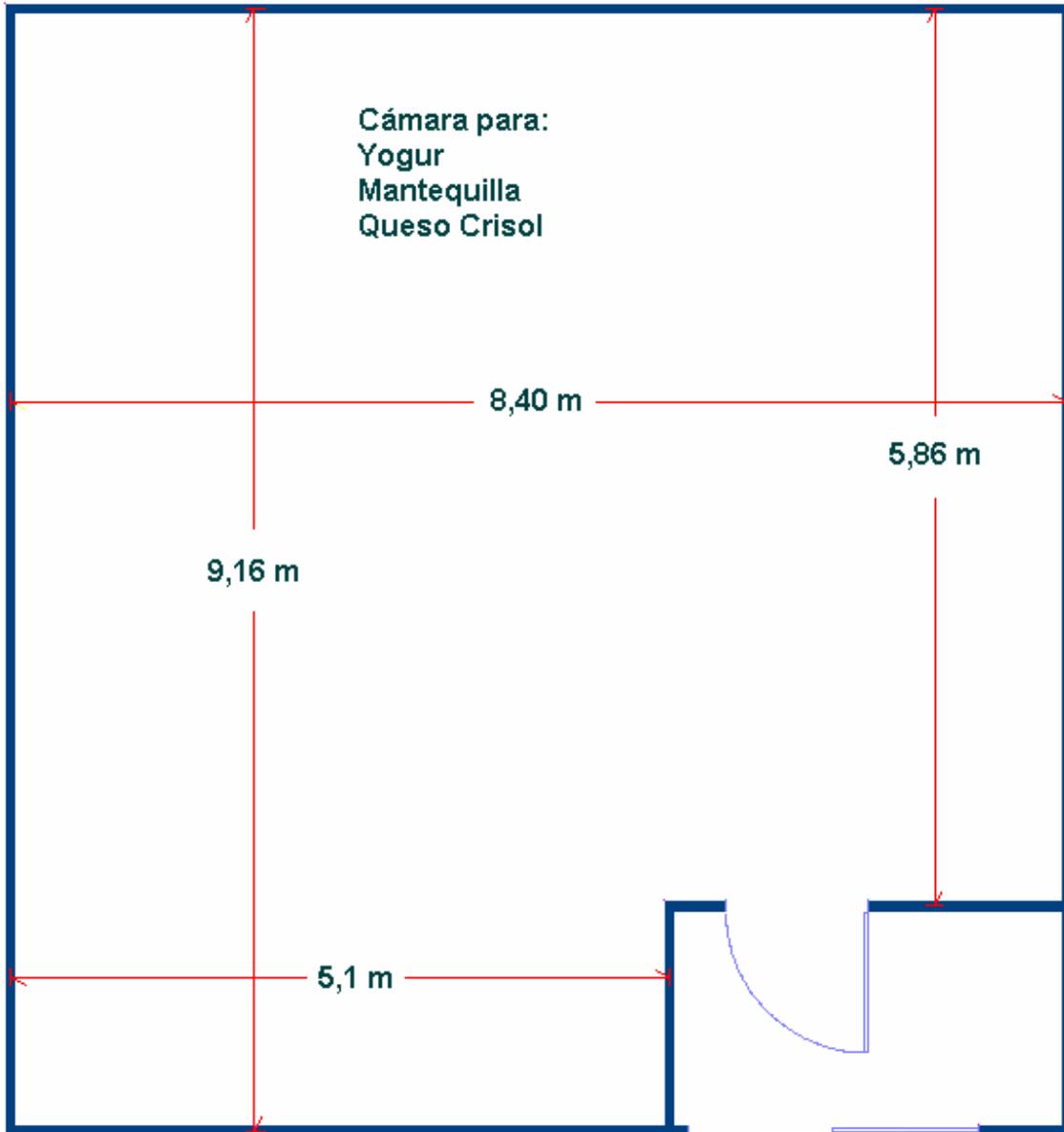
- ✘ **Lar:** Largo
- ✘ **Cor:** Corto
- ✘ **Almacén:** Almacenamiento
- ✘ **HR:** Humedad Relativa
- ✘ **Cp:** Calor Específico (kcal/kg°C)
- ✘ **Tc:** Temperatura de congelación
- ✘ **Cr:** Calor de respiración
- ✘ **Vaire:** velocidad máxima del aire

**NOTAS:**

1. En la columna de Difusor indicado:
  - a. S -- serpentín de tubos lisos o con aletas,
  - b. B -- Difusor con atomizadores de salmuera
  
2. En la columna de calor de respiración:
  - a. ton =2000 lb
  - b. d= 24 horas
  
3. En la columna de tiempo de almacenamiento:
  - a. a-- años,
  - b. m-- meses,
  - c. s-- semanas,
  - d. d-- días,
  - e. h-- horas
  
4. A: La humedad en la cámara es importante
5. B: Las condiciones en la cámara deben de mantenerse dentro de estrechos límites. Investigar si es necesario recalentamiento o humidificación para mantenerla.
6. C: Este producto está sellado, o la humedad no es crítica

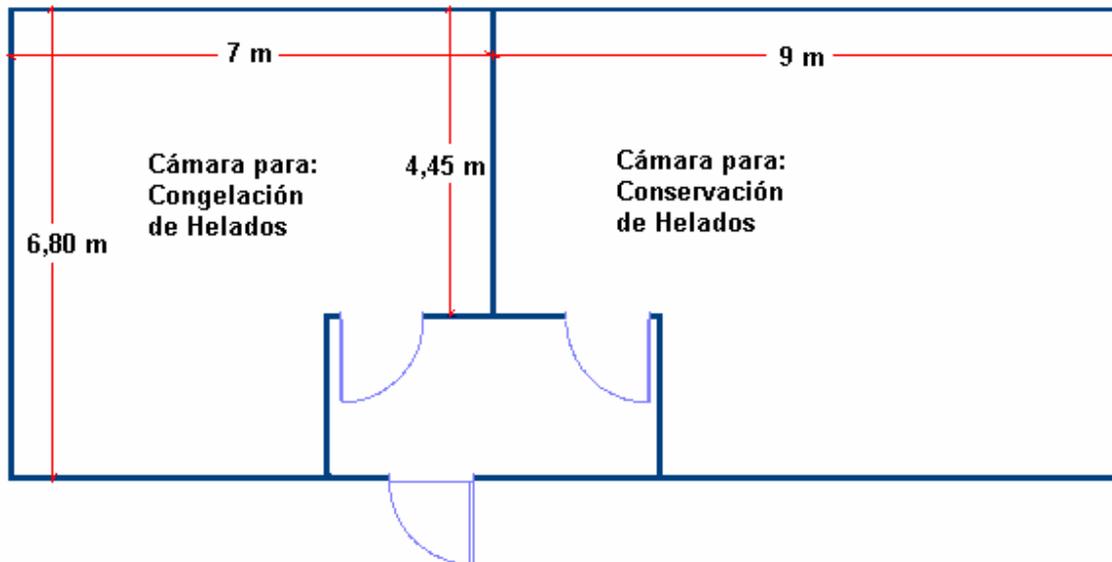
Anexo 3.A

Esquema de la cámara fría para la conservación de Yogur



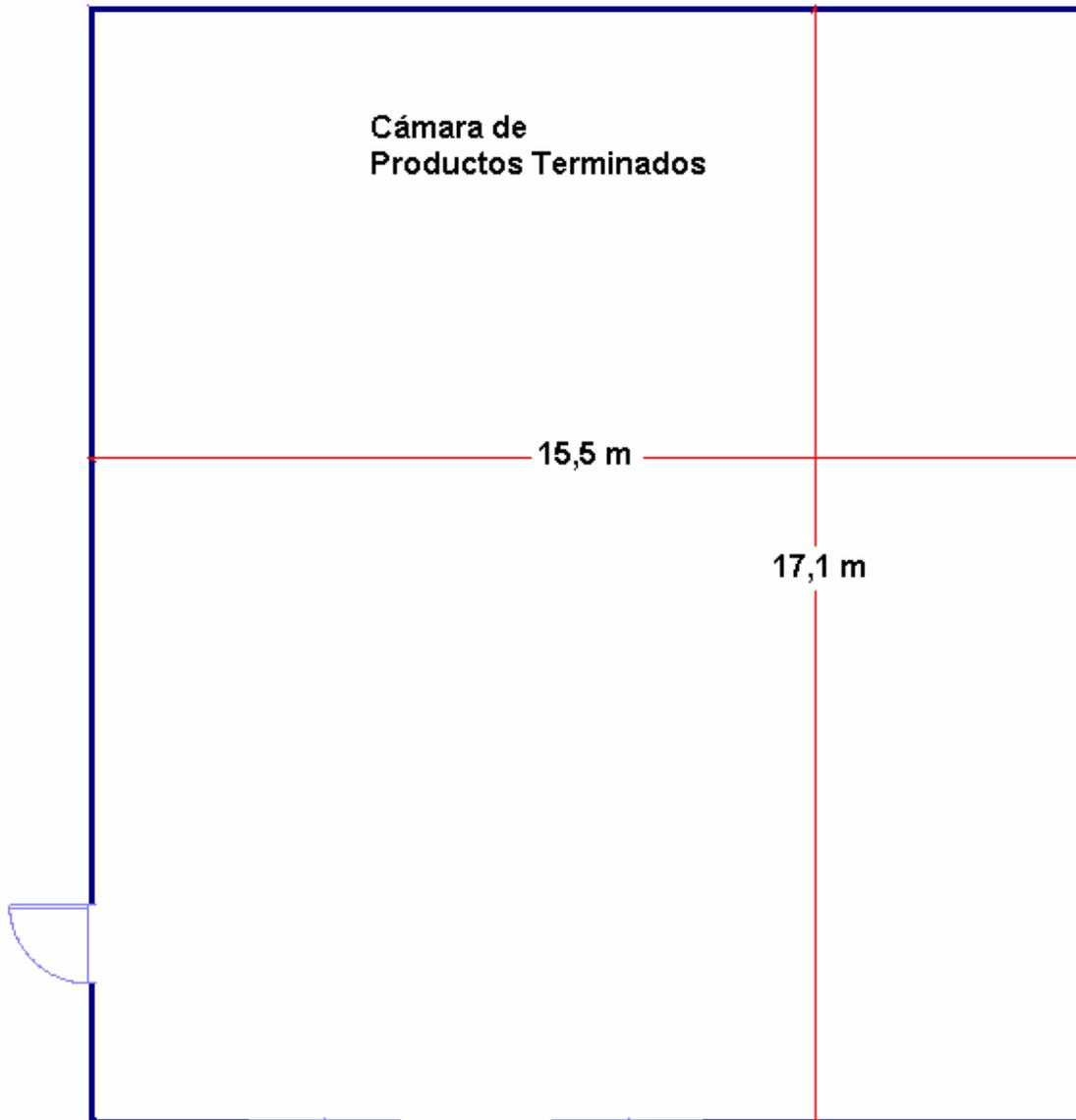
### Anexo 3.B

#### Esquema de las cámaras frías para la congelación y la conservación de Helados



**Anexo 3.C**

**Esquema de la cámara fría para la conservación de Productos terminados**



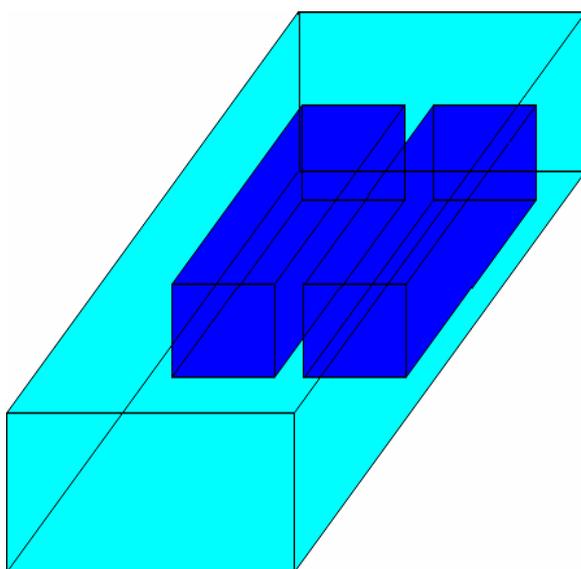
**Anexo 4.**

**Comparación de los volúmenes de productos y de las cámaras de helado y yogur**

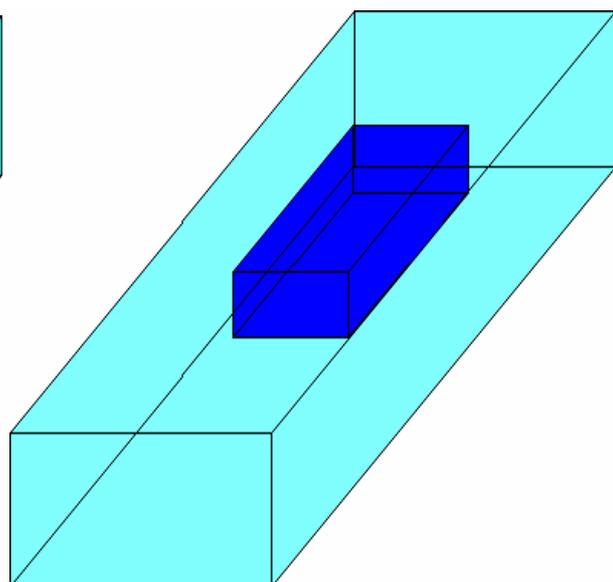
Dimensiones caja de Yogur		Bolsas de Yogur		
Largo (m)	0,39	por cajas	20	
Ancho (m)	0,32	Peso (kg)	0,9	
Alto (m)	0,27	Peso por caja (kg)	18	
Volumen (m <sup>3</sup> )	0,03	Producción diaria (kg)	21158	
Volumen total (m <sup>3</sup> )	39	Cajas producidas	1175	
Cámara Yogur		Dentro de la cámara		Cantidad de cajas
Largo (m)	9,16	Largo (m)	4	10
Ancho (m)	8,4	Ancho (m)	3	10
Alto (m)	3,4	Alto (m)	2	6
Volumen (m <sup>3</sup> )	262	Volumen (m <sup>3</sup> )	20	
% ocupado	15			

<b>Tina de Helado</b>		Peso por tina (kg)	25	
Diámetro (m)	0,3	Producción diaria (kg)	2642	
Alto (m)	0,36	Tinas producidas	106	
Volumen (m <sup>3</sup> )	0,102	Volumen total (m <sup>3</sup> )	11	
Cámara Helado		Dentro de la cámara		Cantidad de tinas
Largo (m)	9	Largo (m)	3,00	10
Ancho (m)	6,8	Ancho (m)	3,00	10
Alto (m)	3,3	Alto (m)	1,44	4
Volumen (m <sup>3</sup> )	201,96	Volumen (m <sup>3</sup> )	13	
% ocupado	5			

Cámara de Yogur

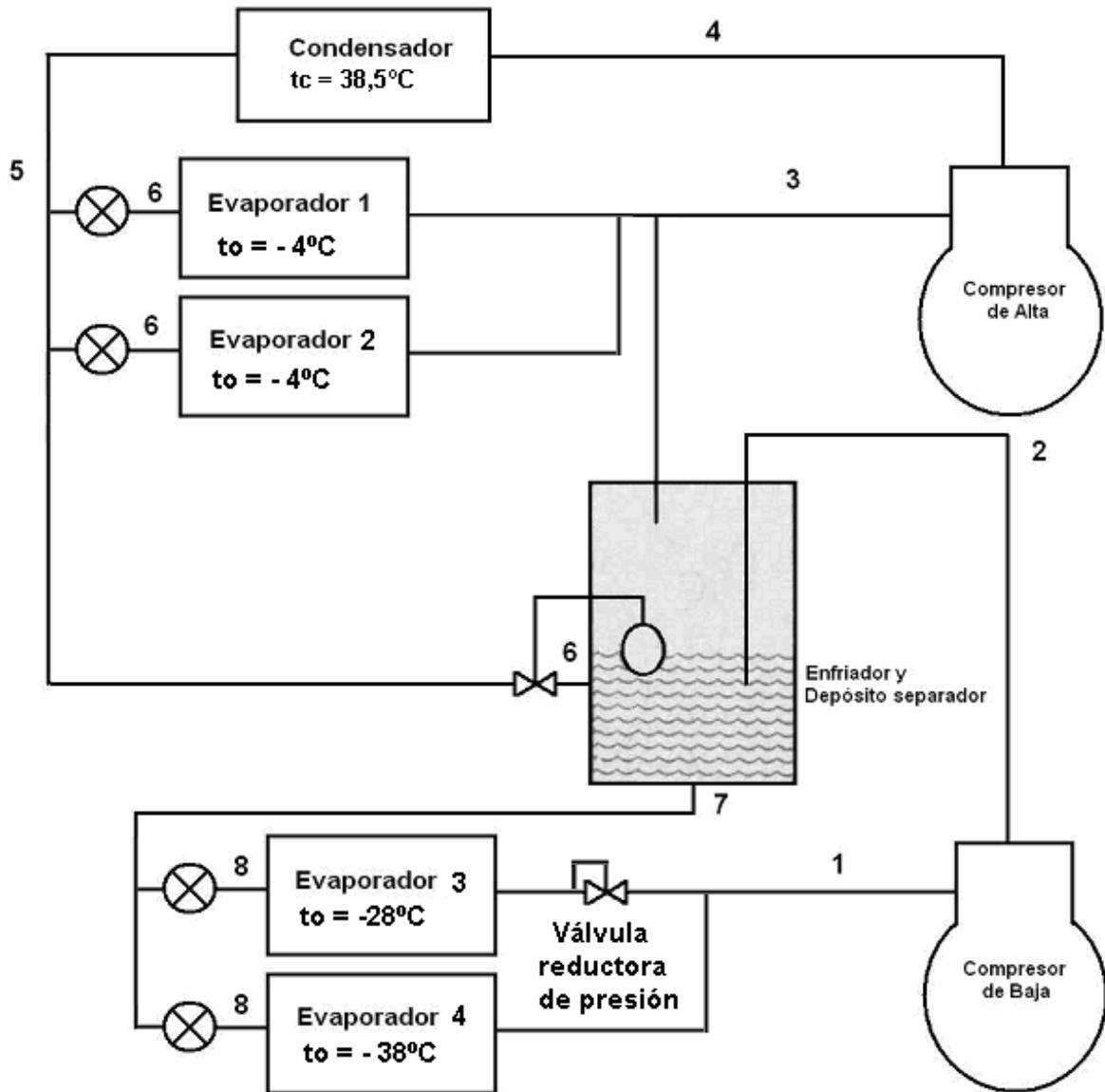


Cámara de Helados



Anexo 5.

Esquema del ciclo de refrigeración por compresión de vapor de dos etapas.





Anexo 6.

Diagrama del ciclo de refrigeración por compresión de vapor de dos etapas.

